bfg Bundesanstalt für Gewässerkunde

2/2012

Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen

Veranstaltungen

WSV.de
Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle

Kolloquium am 12./13. Oktober 2011 in Hannover

Koblenz, April 2012

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: (0261) 1306-0
Fax: (0261) 1306 5302
e-mail: posteingang@bafg.de
Internet: http://www.bafg.de

Druck: Druckerei des BMVBS, Bonn

ISSN 1866 – 220X

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2012.2

Zitiervorschlag:
Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle. Kolloquium am 12./13. Oktober 2011 in Hannover. – Veranstaltungen 2/2012, Koblenz, April 2012, 124 S.; DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2012.2

Inhaltsverzeichnis

Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle **5**

ÜWA – Vorstellung der überregionalen Datenbank zur Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder
Marcus Meyer **6**

WSV-Webanwendung für die Kanal- und Flussstauhaltung zwischen Rhein und Oder
Dietmar Mothes **12**

Nutzen der ämterübergreifenden Datenbank für die tägliche Arbeit in den Betriebszentralen
Meike Cropp **19**

Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt – Modellierung des Wasserhaushalts als Randbedingung für ein Bewirtschaftungsmodell
Thomas Maurer und Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach **27**

BEWASYS – Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Kanal- und Flussstauhaltungen
Patrick Preuß und Jürgen Ihringer **36**

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems
Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Maria Carambia, Jochen Hohenrainer, Enno Nilson und Katharina Richter **42**

Von einfachen wasserwirtschaftlichen Summenbilanzen zu detaillierten Instrumentarien der Wasserbewirtschaftung für komplexe wasserwirtschaftliche Systeme
Uwe Grünewald **54**

BEWASYS Edertalsperre – Aufbau eines Bewirtschaftungsmodells der Edertalsperre für den operationellen Betrieb
Jochen Hohenrainer, Jiri Cemus, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Patrick Preuß und Katharina Richter **61**

Mengen- und Gütebewirtschaftung mit TALSIM-NG in der Planung und im operationellen Betrieb anhand von Beispielen aus der Praxis
Hubert Lohr **72**

Bewirtschaftung des Havel-Spree-Gebiets mit WBalMo
Michael Kaltofen, Martina Schramm und Fabian Müller **81**

Inhaltsverzeichnis

Berliner Gewässer: Modellierung des Einflusses von Bewirtschaftung und Klimawandel auf die Gewässergüte
Annette Becker, Paulin Hardenbicker und Helmut Fischer **91**

Wasserüberleitung vom Donau- ins Maineinzugsgebiet
Thomas Liepold **101**

Bewirtschaftung der Müritz-Elde-Wasserstraße und der Störwasserstraße
Silke Schreier **107**

Modell zur operationellen Bewirtschaftung der Kanäle und Flussstauhaltungen der Betriebszentrale Magdeburg/Rothensee
Eckhard Arnold, Peter Schmitt-Heiderich, Jay Wagenpfeil und Oliver Sawodny **113**

Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle

Das Wasserdargebot in Deutschland ist räumlich und zeitlich unterschiedlich verteilt. Die vielfältigen und zum Teil konkurrierenden Anforderungen des Menschen und der Umwelt an die Ressource Wasser müssen mit dem natürlichen Dargebot kontinuierlich in Einklang gebracht und wirtschaftlich optimiert werden. Hierzu kommen Wasserbewirtschaftungsmodelle sowohl im operationellen Betrieb als auch im Rahmen von Langzeitsimulationen zur Anwendung. Voraussetzung dafür ist eine gute Datenbasis sowie ein kontinuierlicher Datenaustausch. Daher sind Informationssysteme von grundlegender Bedeutung.

Für die ganzheitliche und überregionale Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder wurden in gemeinsamer Arbeit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), der Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen im Geschäftsbereich des BMVBS (DLZ-IT) und der drei Wasser- und Schifffahrtsdirektionen West, Mitte und Ost das Bewirtschaftungsmodell BEWASYS für Langzeitsimulationen wasserwirtschaftlicher Systeme sowie die internetbasierte Datenbank ÜWA-Info aufgebaut. Beide Projekte werden präsentiert. Weiterhin werden Bewirtschaftungsmodelle vorgestellt, die im Rahmen der Flussgebietsbewirtschaftung oder zur Echtzeitsteuerung von Talsperren zum Einsatz kommen.

ÜWA – Vorstellung der überregionalen Datenbank zur Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder

Marcus Meyer

1 Einleitung

Die Wasserbewirtschaftung der Kanäle zwischen Rhein, Weser, Elbe und Oder ist durch unterschiedliche natürliche Gegebenheiten einerseits und unterschiedliche und veränderliche Nutzeransprüche andererseits gekennzeichnet.

Die Bewirtschaftung erfolgt ämterübergreifend in den Bereichen der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen (WSDen) West, Mitte und Ost jeweils durch die Betriebszentralen Datteln, Minden und Magdeburg/Rothensee.

Das Ziel ist es, eine nachhaltige und energetisch optimierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen zur Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sowie zur Sicherung anerkannter, gerechtfertigter Nutzeransprüche einschließlich der Ökologie zu erreichen. Hierzu wurde in gemeinsamer Arbeit von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), der Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen im Geschäftsbereich des BMVBS (DLZ-IT) und den drei WSDen West, Mitte und Ost die internetbasierte Datenbank ÜWA (**Ü**berregionale Informationsplattform zur optimierten **Wa**sserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder) aufgebaut.

Die internetbasierte Datenbank dient den internen Nutzern (z. B. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), BfG) als auch der breiten Öffentlichkeit als Informationssystem. Das System unterstützt die operationelle Arbeit in den Betriebszentralen und stellt einen Großteil der Eingangsdaten für das Tageswertmodell BEWASYS Rhein-Oder zur Simulation der überregionalen Bewirtschaftung des Kanalsystems zur Verfügung.

2 Ausgangssituation und Untersuchungsgebiet

Das Kanalsystem der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder wird von den drei WSDen West (Sitz in Münster), Mitte (Sitz in Hannover) und Ost (Sitz in Magdeburg) verwaltet und bewirtschaftet. Zur Optimierung der Wasserbewirtschaftung wurde in allen drei Direktionen die Bewirtschaftung in jeweils einer Betriebszentrale gebündelt: Datteln (WSD West), Minden (WSD Mitte) und Magdeburg/Rothensee (WSD Ost). Hier kommen aufgrund der regionalen Spezifika unterschiedliche wasserwirtschaftliche Fernwirksysteme zur An-

wendung. Für die ganzheitliche und überregionale Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder war es notwendig, die Vielzahl von Betriebsdaten zusammenzufassen. Die technische und wasserwirtschaftliche Auswertung dieser Daten erfolgte bisher auf unterschiedlichen Auswertungsplattformen als Insellösung vor Ort und ist nun direkt austauschbar.

Zum wirtschaftlichen Einsatz der Ressource Wasser ist es einerseits erforderlich, die jeweilige Bewirtschaftungslamelle in engen Grenzen zu halten, andererseits ist der Betrieb der Pumpwerke zu optimieren. Zur Wasserbewirtschaftung werden sowohl aktuelle Wasserstandsdaten als auch aktuelle Informationen über Pump-, Schleusungs- und Entlastungswassermengen abgerufen. Weitere Daten zur Anlagenverfügbarkeit, zu Bewirtschaftungsvorgaben, Elektroenergiepreisen, Pump- und Entlastungsaufträgen sowie Windvorhersagen werden ebenfalls vorgehalten. Mit den verfügbaren Daten wird auf der Basis einer rechnergestützten Bilanzierung ein Vorschlag über den wirtschaftlichen Einsatz der Pumpen ermittelt.

Das Kanalsystem der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder hat bei Aneinanderreihung aller Haltungen eine Gesamtlänge von ca. 1.300 km. Von West nach Ost gesehen besteht es im Wesentlichen aus folgenden Wasserstraßen: Rhein-Herne-Kanal, Haltung der Ruhr, Wesel-Datteln-Kanal, Datteln-Hamm-Kanal, Teilen des Dortmund-Ems-Kanals, Mittellandkanal, Elbe-Seitenkanal, Elbe-Havel-Kanal, Untere Havel-Wasserstraße (UHW), Havelkanal, Havel-Oder-Wasserstraße, Spree-Oder-Wasserstraße (SOW) und dem Teltowkanal. Dazu kommen noch Stichkanäle (insbesondere im Bereich der WSD Mitte). In Abb. 1 sind diese Wasserstraßen sowie die Zuständigkeitsbereiche der WSDen grafisch dargestellt. Das System besteht zu über 50 % aus Kanalstrecken, zu ca. 20 % aus staugeregelten Flussstrecken und zu 30 % aus Fließgewässern (insbesondere im Bereich der WSD Ost). Kurze frei fließende Flussstrecken befinden sich im Modellgebiet nur in der UHW, der SOW und der Ruhr (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011).

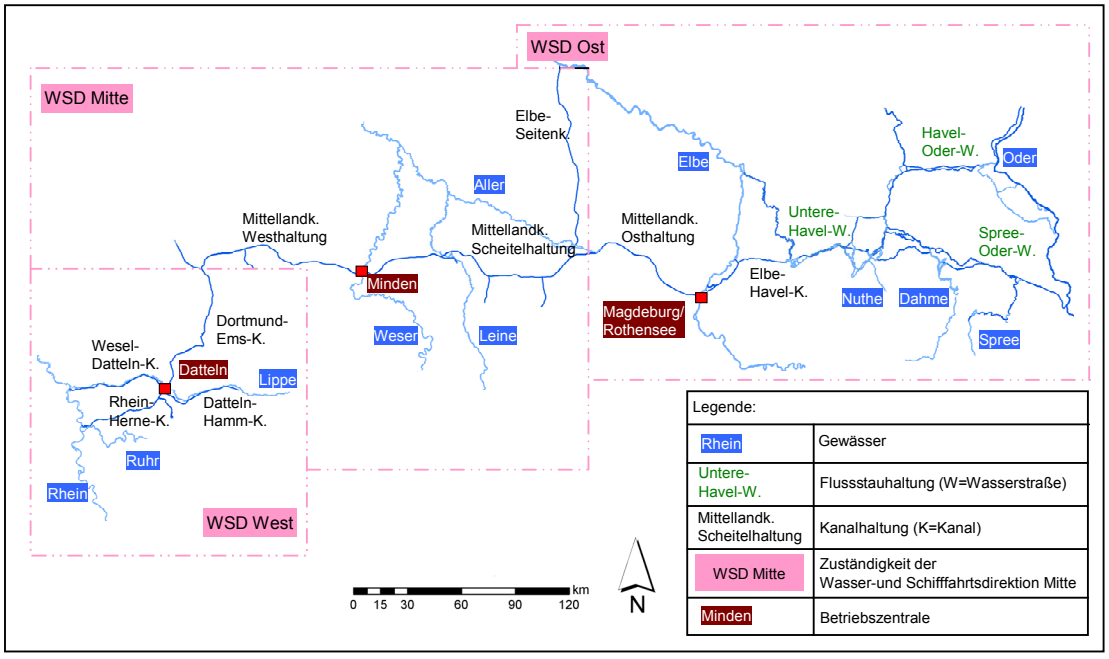


Abb. 1: Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder

Zwei Schiffshebewerke und 84 Schleusen ermöglichen das Überwinden der Höhenunterschiede auf den Hauptstrecken. Zur Speisung der 27 Haltungen werden 30 Pumpwerke betrieben (FINKE et al. 2004).

3 Zielsetzung

Die Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder bilden einzugsgebietsübergreifend ein wasserwirtschaftliches System, das nach einheitlichen Grundsätzen und Regeln mit den folgenden Zielen bewirtschaftet und gesteuert werden soll (FINKE et al. 2004):

(1) Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit für den Schiffsverkehr und
(2) nachhaltige und energetisch optimierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen.

Vor diesem Hintergrund wurde das zentrale Informationssystem ÜWA (ehemalige Bezeichnung: ÜWA-Info) errichtet, welches die wasserwirtschaftlichen Aufgaben vor Ort unterstützt und durch Datenimporte aus den Betriebszentralen in die Lage versetzt wird, das Gesamtsystem mit den jeweiligen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zwischen Rhein und Oder darzustellen. Diese Konstellation soll eine Entscheidungshilfe liefern, um in Absprache mit den Nachbarbetriebsstellen ein Tageskonzept für die Bewirtschaftung besonders in Trockenzeiten oder während besonderer Betriebszustände aufstellen zu können. Der Datenaustausch soll untereinander erfolgen, um in allen Betriebszentralen die gleiche Sicht auf das System zu ermöglichen. Auf diese Weise kann in gemeinsamer Absprache eine optimierte Tagesbewirtschaftung allseitig angestrebt werden.

Die zentrale internetbasierte Datenbank ÜWA liefert einen Großteil der Eingangsdaten für BEWASYS Rhein-Oder, das für dieses Gebiet entwickelte Bewirtschaftungsmodell mit dem die Auswirkungen unterschiedlicher nutzerspezifischer und klimatologischer Veränderungen auf die Wasserbewirtschaftung untersucht werden können (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012, siehe S. 42ff.).

4 Vorgehen

In einem ersten Arbeitsschritt wurde eine Istzustandsanalyse erarbeitet, um die Bewirtschaftung des Kanalnetzes zu erfassen. Mit der Istzustandsanalyse wurden die Einflussgrößen und Randbedingungen auf die Wasserbilanz qualitativ erfasst, die Datenverfügbarkeit in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung dargestellt und die Schlussfolgerungen zur Behebung von Informationsdefiziten und für weitere Arbeiten aufgezeigt.

Auf der Grundlage einer intensiven Daten- und Informationsrecherche wurden Arbeitsdateien erarbeitet, die auf Stauhaltungen aufgeschlüsselte Informationen enthalten. Daraus wurden Tabellen der Gewässerdaten, der Nutzerdaten und eine wasserwirtschaftliche Grobbilanz abgeleitet sowie eine Systemskizze (siehe Abb. 2) und Längsschnitte der Bundeswasserstraßen aufgestellt. Damit war ein Überblick über das Gesamtsystem möglich.

Im Ergebnis der Analyse ist festzuhalten, dass die wasserwirtschaftliche Grobbilanz für eine Niedrigwassersituation für das Kanalsystem der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder unter Vernachlässigung der realisierten Speisungsmaßnahmen der WSV negativ ist. Werden die Kapazitäten der Pumpwerke und Überleitungen berücksichtigt, ist die Bilanz positiv. Daraus konnte gefolgert werden, dass die Wasserversorgung des Kanalsystems weniger ein Problem des Wasserdargebotes als der Wasserverteilung und deren Kosten ist (FINKE et al. 2004).

Aus dem Gebot wirtschaftlichen Handelns war die Einrichtung einer gemeinsam betriebenen „Überregionalen Informationsplattform zur optimierten Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder“ notwendig.

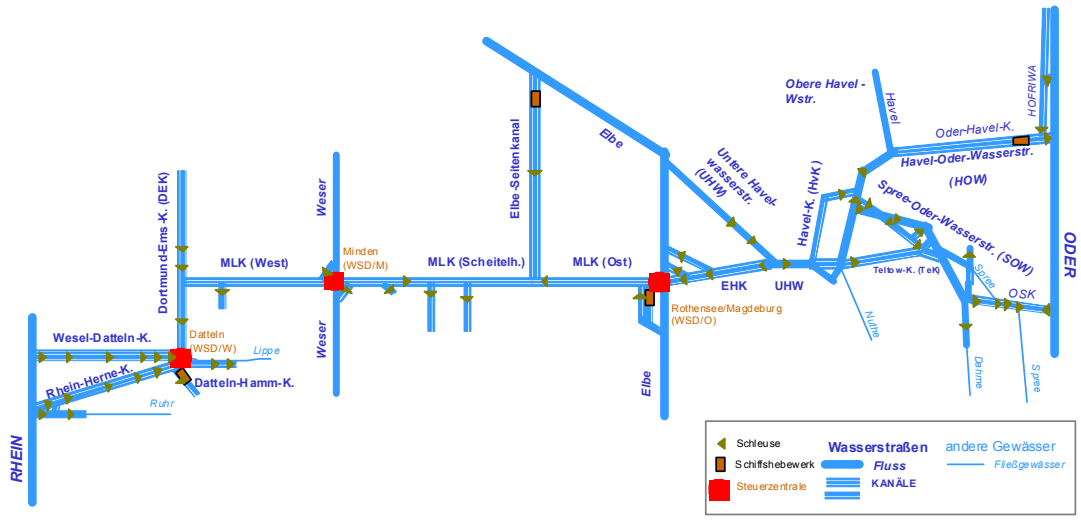


Abb. 2: Systemskizze der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder (FINKE et al. 2004)

5 Umsetzung

Zur Umsetzung von ÜWA wurden 23 Anwendungsfälle aus Anwendersicht umfassend beschrieben und die maßgebenden Anforderungen festgelegt. Für die darzustellenden Systeme wurden allgemeine Funktionen (z. B. Drucken, Anmelden, Suchen etc.), spezielle Funktionen (z. B. Einleitungen, Entnahmen, Energiepreise etc.) und Zugriffsrechte festgelegt.

Hierbei wurde auch der neuen Gesetzeslage (z. B. Umweltinformationsgesetz) Rechnung getragen, in dem in einem öffentlich anwählbaren Bereich bestimmte Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Die haltungsbezogenen Stammdaten werden einmalig und dann nur bei Änderungen, die Betriebs- und Bewirtschaftungsdaten der Kanäle sowie deren Anlagen werden von den Betriebszentralen täglich automatisch an ÜWA übergeben. Alle gewässerkundlichen Daten (Messdaten, Stammdaten der Gewässer und Pegel) werden aus PEGELONLINE (WSV) bezogen. ÜWA dient dem Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder als Datenlieferant. Umgekehrt können Ergebnisse aus den Simulationsrechnungen in ÜWA implementiert werden.

Der öffentliche Bereich von ÜWA enthält allgemeine Informationen. Eine spätere Anbindung externer Beteiligter (Landwirtschaft, Kraftwerke, etc.) ist möglich.

Fachlich zentrale Haupteinheiten stellen die Kanal- bzw. Flussstauhaltungen dar. Jede Haltung besitzt ihre spezifischen Informationen zu Entnahmen (z. B. durch Landwirtschaft, Industrie, Kraftwerke, Wasserwerke), zu Einleitungen (z. B. von Kläranlagen), zu oberirdischen und unterirdischen Zuflüssen, zu Entlastungen (regelbare Zuleitungen zu kreuzenden Vorflutern wie Flüsse oder Bäche), zur Verdunstung, zu Mindestdurchflüssen und zur regionalen

Wasserbewirtschaftung. So tritt z. B. in der WSD West zusätzlich der Sonderfall auf, dass von der frei fließenden Lippe Wasser in die Scheitelhaltung eingespeist bzw. der Abfluss in der Lippe am Wehr Hamm in Niedrigwasserzeiten mit Kanalwasser aufgehöht werden kann. Mit Hilfe dieser Daten werden die Wasserbilanzen dieser Haltung ermittelt.

Die Haltungen sind durch Schleusen bzw. Hebewerke verbunden, welche wiederum Pumpwerke und Wehre enthalten können.

Für jede dieser Merkmale werden in ÜWA die tagesaktuellen Kenndaten gehalten (MEYER & MOTHES 2008). Mit Hilfe aller oben genannten Daten werden die Wasserbilanzen der Haltungen ermittelt und dargestellt. Mit ÜWA ist ein überregionaler Informationsaustausch gewährleistet und die Zusammenarbeit der Betriebszentralen wird weiter optimiert.

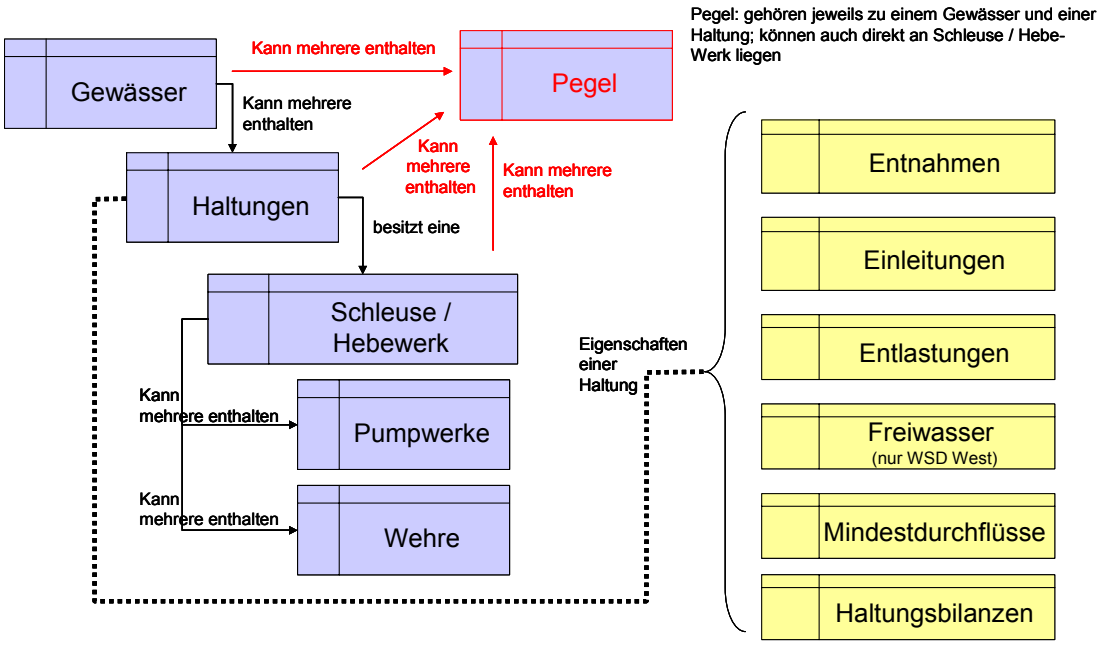


Abb. 3: Auszug aus dem Datenmodell von ÜWA mit Darstellung der wichtigsten Tabellen und ihren Beziehungen zueinander (MEYER & MOTHES 2008)

Die ÜWA befindet sich derzeit im Probebetrieb und wird voraussichtlich noch in 2011 in den Wirkbetrieb gehen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung einer „Überregionalen Informationsplattform zur optimierten Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder“ ist ein erster Schritt zu einer übergreifenden optimierten Wasserbewirtschaftung des bestehenden Kanalsystems.

Mit dem zeitgleich durch die BfG entwickelten Rechenmodell BEWASYS Rhein-Oder zur Darstellung von möglichen Szenarien für die Wasserbewirtschaftung im Untersuchungsraum zwischen Rhein und Oder können nun Veränderungen am System simuliert werden, deren Ergebnisse eine weitere Optimierung im Hinblick auf die zu treffenden Entscheidungen darstellen.

Somit wird erstmals eine gesamtheitliche Bilanzierung und Bewirtschaftung der Haltungen zwischen Rhein und Oder ermöglicht und damit der Umgang mit der Ressource Wasser und der Betrieb des Kanalsystems wirtschaftlich optimiert. Die Wasserbewirtschaftung der Wasser- und Schifffahrtsdirektionen West, Mitte und Ost ist damit für die Zukunft bestens aufgestellt.

Literatur

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 42-53

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, J. IHRINGER, P. PREUß, K. RICHTER (2011): Modellierung der Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder mit dem Tageswertmodell BEWASYS Tag der Hydrologie 24./25.03.2011 in Wien. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 30.11, S. 186 - 192.

FINKE, W., S. KRAUSE, A. HAUNSCHILD (2004): Istzustandsanalyse der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1427, Koblenz.

MEYER, M., D. MOTHES (2008): Aufbau eines Systems zur überregionalen Wasserbewirtschaftung für die WSD West, Mitte und Ost – ÜWa-Info Trendanalyse von Abflüssen im Niedrigwasserbereich. BfG-Kolloquium „Wasserbewirtschaftung und Niedrigwasser“ am 26./27. Mai 2008 in Koblenz. In: Veranstaltungen 6/2008, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 112 - 115.

WSV: PEGELONLINE - Gewässerkundliches Informationssystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. http://www.pegelonline.wsv.de/gast/start (letzter Zugriff 23.01.2012)

Kontakt:
Marcus Meyer
Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte
Am Waterlooplatz 5
30169 Hannover
Tel.: 0511/ 9115 3430
Fax: 0511/ 9115 3400
E-Mail: marcus.meyer@wsv.bund.de

WSV-Webanwendung für die Kanal- und Flussstauhaltung zwischen Rhein und Oder

Dietmar Mothes

1 Einleitung

Bei der Wasserbewirtschaftung der Kanäle zwischen Rhein (Westdeutsches Kanalnetz, WSD West), Weser (Kanalnetz der WSD Mitte) und Elbe/Oder (Bereich der WSD Ost) durch die Betriebszentralen Datteln, Minden und Magdeburg besteht insbesondere bei der Bewirtschaftung der gemeinsamen Haltungen ein intensiver Abstimmungsbedarf. Diese Abstimmungen finden bisher vor allem via Telefon statt. Da bereits jede Wasserstandsanpassung um 1 cm in der MLK-Westhaltung Kosten von ca. 500 € erzeugt, liegt in einer Optimierung der überregionalen Bewirtschaftung ein zu nutzendes Verbesserungspotenzial (WSD Mitte 2005).

Am 18.11.2005 erteilte die WSD Mitte stellvertretend für die WSD West und WSD Ost den Projektauftrag zur Entwicklung einer Informationsplattform zur überregionalen Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder (ÜWA) an die heutige Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen im Geschäftsbereich des BMVBS (DLZ-IT) (damals Fachstelle IT der WSV).

Nach Abstimmung und Beginn der Arbeiten gab es folgenden zeitlichen Ablauf:

>	Projekthandbuch inklusive IT-Wibe	19.03.2007
>	Erstellung von Anwendungsfällen	05.11.2008
>	Erstellung eines Lastenheftes	10.03.2009
>	Ausschreibung und Vergabe	28.09.2009
>	Realisierung	26.11.2010
>	Pilotierung	31.12.2011

Dieser Beitrag stellt die IT-fachlichen Ziele sowie deren IT-Umsetzung vor.

2 Zielsetzungen

Neben den fachlichen Anforderungen an die zu erstellende Applikation, wurden umfangreiche IT-Ziele für die Realisierung von ÜWA festgelegt. Diese Ziele lassen sich wie folgt zusammenfassen.

1. Webanwendung für alle Nutzer zur Information
   Alle Nutzer (WSV intern, Oberbehörden, externe Dritte, Öffentlichkeit) müssen über eine Web-Anwendung die Informationen erhalten. Die Erstellung einer installierbaren Clientversion ist nicht vorgesehen.

2. Webanwendung für Fachnutzer zur Dateneingabe und Analyse
   Alle Fachnutzer (Betriebszentralen) greifen ebenfalls über eine Webanwendung auf ÜWA zu. Dateneingaben und Analysen müssen über die Webanwendung erfolgen.
3. Modularer Aufbau – leicht erweiterbar
   Alle IT-Teilsysteme (Datenbank, Geschäftslogik, Webseite, Schnittstellen) sowie fachliche Module (Karte, Datenanalyse, Monitoring, etc.) sind als einzelne Module aufzubauen. Die Schnittstellen zwischen den Modulen sind so zu gestalten, dass ein Austausch von Modulen möglich ist.
4. Generische Schnittstelle zur Anbindung weiterer IT-Systeme auf der Basis Service orientierter Architekturen (SOA)
   Alle Datenbankattribute müssen über eine generische Schnittstelle als Webservice abgefragt werden können. Diese generische Schnittstelle stellt die Basis für spätere Datendienste nach ÜWA und von ÜWA an externe Systeme dar.
5. Monitoring der automatisierten technischen Abläufe (z. B. Datenimport)
   Alle technischen Vorgänge sind zu überwachen. Die Systemzustände müssen an das im DLZ-IT eingesetzte zentrale Monitoringsystem (nagios) übermittelt werden. Die weitere Verarbeitung der Systemzustände und eine mögliche Benachrichtigung bei auftretenden Problemen übernimmt das zentrale Monitoringsystem.
6. Sichere Verwaltung der Daten
   Alle Daten sowie die Applikationskonfigurationen sind nach einem abgestimmten Sicherungskonzept dauerhaft zu speichern. Dies gehört zu den normalen Betriebsaufgaben, wird aber oftmals unterschätzt bzw. ist dies der Fachseite nicht transparent.

3 Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung erfolgt nach europaweiter Ausschreibung durch den Auftragnehmer Fichtner IT Consult. Im Weiteren wird auf deren interne Arbeitsweise nicht eingegangen. Die weiteren Erläuterungen stellen die technische Umsetzung während des Projektverlaufes zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer dar.

3.1 Systementwicklung

Im Projekt wurde eine inkrementelle Vorgehensweise zur Systemerstellung gewählt. Bereits die Erstellung des Pflichtenheftes sowie die Erstellung des Systems erfolgten in kleinen Schritten. Der erste Prototyp zeigte bereits den technischen Durchstich ausgewählter Funktionen. Der erweiterte Prototyp umfasste ca. 80 % aller Funktionen. Mit der Version 1.0 wird der Pilotbetrieb durchgeführt. Alle Teilschritte wurden mit Zwischenreviews bewertet. Zu jedem Teilschritt gab es notwendige Änderungen. Diese konnten ohne gravierende Verzögerungen oder Mehrkosten umgesetzt werden.

Als Entwicklungsumgebung wurde eclipse eingesetzt. Dies wurde zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer abgestimmt, da der Auftragnehmer zur Lieferung des Codes verpflichtet war. Als Programmiersprache wurde Java genutzt. Viele Webfunktionen basieren auf JavaScript.

Die generische Webservice-Schnittstelle wurde via axis (SOAP-Engine für Webservices) realisiert. Um die Modularität der Geschäftslogik zur Datenbank sicherzustellen, wurde HIBERNATE zur Speicherung von Objekten in Datenbanken genutzt.

Die verschiedenen Applikationseinheiten wurden strikt getrennt voneinander aufgebaut. Der Anwendungsserver beinhaltet dabei die Verwaltung der verschiedenen Präsentationen/Datenquellen, die Geschäftslogik sowie die Persistenz-Schicht, die das Schreiben und Lesen der Daten aus der Datenbank übernimmt. Die Haltung der Fachdaten übernimmt eine Oracle-Datenbank.

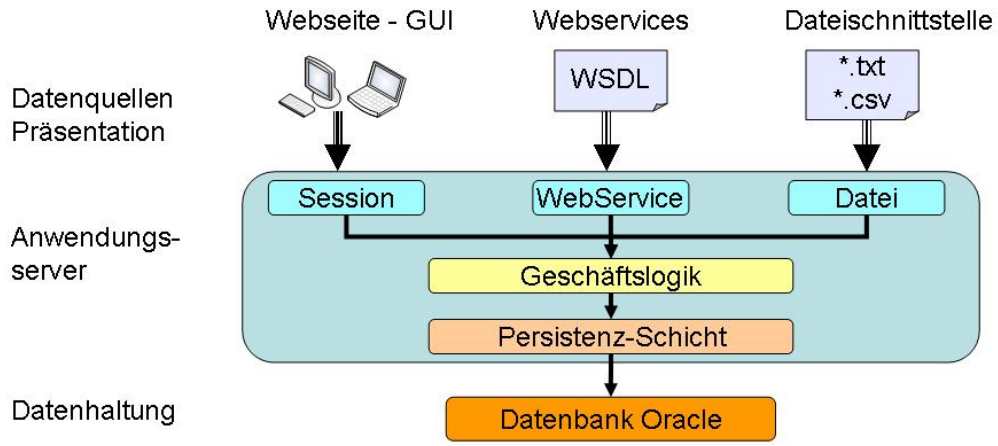


Abb. 1: Schichtenaufbau der technischen Einheiten von ÜWA

3.2 Einsatz von Open Source Software (OSS)

Der Einsatz von Open Source Software ist Ziel der Bundesregierung und der EU. Die öffentlichen Verwaltungen sollen „den Vorteilen der Nutzung offener Spezifikationen besondere Beachtung schenken, um Dienste so kostengünstig wie möglich anbieten zu können.“ (EU 2009). Die Bundesregierung hat dafür ein eigenes Kompetenzzentrum Open Source Software beim Bundesverwaltungsamt gegründet (www.oss.bund.de).

Bei der Erstellung von ÜWA kam verschiedene Open Source Software (OSS) zum Einsatz. Vor allem der Kartenclient basiert auf OSS. Als Framework für die Karte wurde Mapfish verwendet (mapfish.org). Mapfish bietet komfortable Funktionen für die Karte und die Sachdaten innerhalb von Tabellen.

Innerhalb von Mapfish werden die Karten mittels OpenLayers angezeigt (openlayers.org). Die Kartenbilder werden auf dem Server mittels des UMN MapServers (mapserver.org) erzeugt. Alle diese Produkte sind Open Source Software.

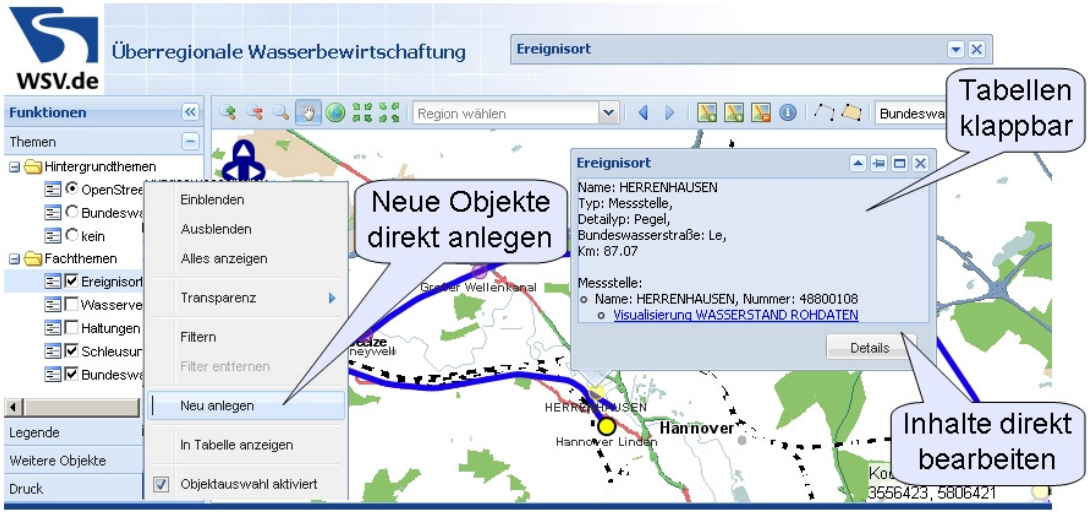


Abb. 2: Kartenclient von ÜWA. Als Framework mit umfangreichen Funktionen für Karte und Tabellen wird Mapfish verwendet. Die Karte selbst wird mittels OpenLayers dargestellt und am Server mittels des UMN MapServers erzeugt.

Die Open Source Software besitzt im Vergleich zu Closed Software vielfältige Vorteile. OSS kann einfach und unmittelbar genutzt werden. Eine Vielzahl von Standards werden bereits unterstützt, da es keine Firmen eigenen Standards als Rahmen bei der Entwicklung gegeben hat. Eigene Weiterentwicklungen sind problemlos möglich und fließen zurück in die Community, wie auch Weiterentwicklungen aus der Community leicht nachgenutzt werden können. Eine Vielzahl von Dienstleistern und Entwicklern können OSS voranbringen. Dies erleichtert die Suche nach einem Auftragnehmer. Kooperationen mit anderen Partnern aus der öffentlichen Verwaltung und der Privatwirtschaft sind leicht möglich, ohne großen vorherigen Verwaltungsaufwand und lizenzrechtliche Abstimmungen. So wird der Wissenstransfer zwischen den Projekten gefördert. Entwicklungszyklen in der Software können im Projekt selbst bestimmt werden. Zwangsweise durchgeführte Updates gibt es nicht. Eine spätere Skalierbarkeit verbunden mit mehrfachen Installationen ist nicht eingeschränkt.

Natürlich bestehen auch Nachteile. OSS bedeutet nicht lizenzfreie Software. Insbesondere bei einer Verzahnung von OSS mit Closed Software muss beachtet werden, ob dies die OSS-Lizenz zulässt. Eine Vielzahl von OSS-Lizenzen (z. B. GNU GPLv3, www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html) legen eine Vererbung der OSS-Lizenz fest. Wird diese OSS mit anderer Software als Gesamtsoftware genutzt, überträgt sich die OSS-Lizenz auf die Gesamtsoftware.

3.3 Überwachung

Jede Applikation und die für den Betrieb genutzte Infrastruktur (Server, Router, Netze) müssen technisch überwacht werden, um kritische Systemzustände festzustellen und vor einem Systemausfall beheben zu können. Aufgetretene Fehler müssen schnell an die verantwortlichen Betreuer gemeldet werden. Im DLZ-IT besteht bereits eine solche Überwachung.

Im Rahmen der ÜWA-Entwicklung wurden neben der Hardware auch technische Abläufe aus ÜWA an das zentrale Monitoringsystem angeschlossen. Die Übermittlung des Systemzustandes erfolgt mit dem Simple Network Management Protokoll (SNMP). Dies betrifft alle zeitgesteuerten Prozesse (Übernahme der Messstellen aus PEGELONLINE, Import der Betriebs- und Bewirtschaftungsdaten, Berechnung der Haltungsbilanzen) sowie die Schnittstellen. Nach einem Import wird eine SNMP-Nachricht an das Monitoringsystem geschickt und dort ausgewertet. Bei Fehlern und dem Ausbleiben zeitgesteuerter SNMP-Nachrichten erfolgt die Information an die Administration.

3.4 Qualitätssicherung (QS)

Die Qualitätssicherung in Projekten besitzt eine große Bedeutung. Neben der Projektkultur der beteiligten Personen, Mängel anzusprechen und eigene Fehler einzugestehen, muss sichergestellt werden, dass alle Anforderungen während der Planung (Erstellung Pflichtenheft) und der Programmierung umgesetzt werden. Innerhalb des Projektes ÜWA betrug der Aufwand für die QS ca. 15 % vom Gesamtbudget.

Alle Anforderungen waren nummeriert und in einer Matrix gelistet. Bereits im Pflichtenheft wurde jeder Anforderung in der Matrix die entsprechende Textstelle im Pflichtenheft zugewiesen.

Neben der Prüfung der Dokumente (Datenmodell, Pflichtenheft, Handbücher) wurde der Source Code gestestet und umfangreiche Funktionstests durchgeführt. Für die Funktionstests kam die Software TestOffice zum Einsatz. Innerhalb TestOffice wurden alle Anforderungen innerhalb von Testschritten beschrieben und die Testschritte zu Testfallsequenzen zusammengefasst. Die Testfallsequenzen entsprechen durchführbaren Arbeitsschritten und wurden den einzelnen Mitgliedern der Projektgruppe des Auftraggebers zugewiesen. Diese führten die Testfälle aus und dokumentierten im TestOffice die korrekte oder inkorrekte Funktionsweise. Somit war sichergestellt, dass alle Anforderungen im Test berücksichtigt wurden.

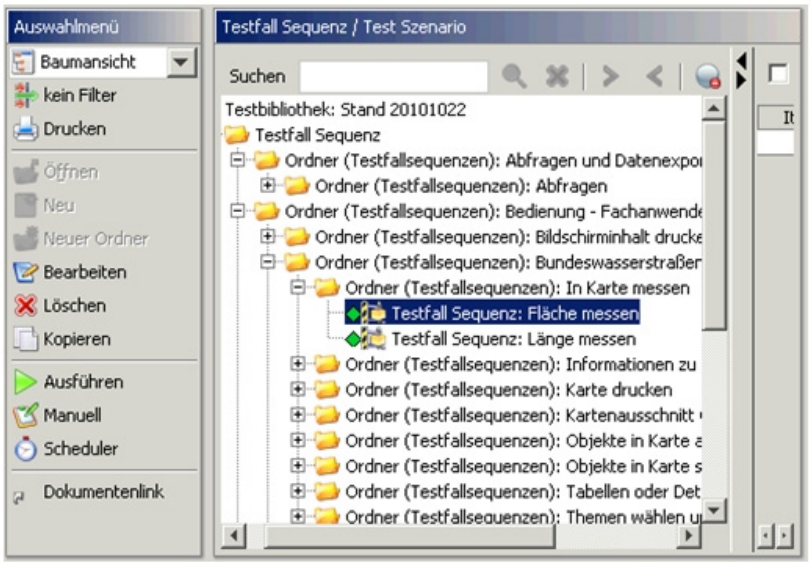


Abb. 3: Auszug aus TestOffice. Alle Anforderungen wurden mittels TestOffice in Testschritten beschrieben und diese zu Testfallsequenzen zusammengefasst. Bei der Abnahme wurden alle Testfallsequenzen abgearbeitet und die Erfüllung der Anforderung dokumentiert.

Insgesamt wurden 2465 Testschritte aufgestellt. Die Testabdeckung lag bei 98 %. Somit wurden 98 % aller Anforderungen getestet. Die fehlenden 2 % konnten nicht getestet werden, da hier noch Nachlieferungen ausstanden. Diese Tests erfolgten nach der Gesamtabnahme.

Das Testergebnis war hervorragend. Es gab keine hinderlichen Fehler (Klasse 1), 10 schwere Fehler (Klasse 2) und 14 leichte Fehler (Klasse 3).

3.5 Schnittstellen/Datenflüsse

Die generische Schnittstelle erlaubt den Export aller persistenten Daten aus ÜWA mittels Webservice. Dieser Webservice ist zugangsgeschützt und kann als Datenquelle für alle weiteren Datendienste von ÜWA an externe Applikationen dienen. Diese generische Schnittstelle ist bereits jetzt die Grundlage für implementierte Dateischnittstellen und kann leicht für neue Dateiformate genutzt werden.

Alle Importe laufen ebenfalls über die generische Schnittstelle. Liefert eine Datenquelle die Daten nicht konform dem Webservice (z. B. gesonderte Dateiformate), dann wird eine gekapselte Dateischnittstelle implementiert, die diese Daten aufbereitet und dem Webservice zum Import liefert.

Folgende implementierte Schnittstellen bestehen derzeit:

- Pegeldaten für ÜWA, SOAP-Webservice
- Anzeige Pegeldaten, Visualisierungswebservice

PEGELONLINE

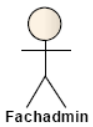
- Schleusungs- und Pumpdaten, Dateischnittstelle

WSV.de

- Karten, WebMapService (WMS)

GDI-WSV

- charakteristische Zeitreihen (z. B. Verdunstung), manueller Import



Derzeit werden zwei Arten von Daten automatisiert nach ÜWA importiert. Dies umfasst die Steuerungsdaten mit den Pumpmengen und der Anzahl der Schleusungen. Weiterhin werden die aktuellen Pegeldaten (Wasserstand, Chlorid-Gehalt, Wassertemperatur) via PEGELONLINE nach ÜWA importiert.

Der Übermittlung der Steuerungsdaten aus den Betriebszentralen der WSV erfolgt derzeit einmal täglich (8:00 Uhr Meldung). Der Abruf und die Übertragung der Pegeldaten erfolgt mehrmals täglich.

Kartenhintergrunddaten werden via WebMapService aus der Geodateninfrastruktur der WSV (GDI-WSV) bezogen. Hier können leicht weitere Kartendienste (z. B. Luftbilder) hinzugezogen werden.

Charakteristische Zeitreihen (z. B. Verdunstungs- oder Versickerungsraten), die z. B. zur Berechnung der Wasserbilanzen notwendig sind, können vom Fachadministrator manuell importiert werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die IT-Erstellung von ÜWA dauerte nach Projektauftrag ca. 5 Jahre. Dabei wurde vor allem bei der Erstellung des Lastenheftes und der Anwendungsfälle verbunden mit der Aufnahme des Ist-Zustandes sehr sorgfältig vorgegegangen. Nach Ausschreibung wurde innerhalb eines Jahres die Web-Applikation erstellt. Aufgrund dynamischer Projektdurchführung und systematischer QS konnte ein IT-System in hoher Qualität geschaffen werden.

Derzeit läuft der Pilotbetrieb. Der Auftragnehmer, Fichtner IT Consult wird mit der dauerhaften Pflege des IT-Systems beauftragt. Für die Einführung bei den Betriebszentralen liegt ein Entwurf eines Service Level Agreements (SLA) vor. Dieses SLA regelt den Betrieb von ÜWA beim DLZ-IT. Der Abschluss des SLA soll mit dem Einführungserlass erfolgen.

Nach Einführung von ÜWA durch die WSV wird die Webseite www.uewa.wsv.de im Internet freigeschaltet.

Im Laufe der Nutzung sind weitere Optimierungen vorstellbar. So kann die Kartendarstellung verfeinert sowie mit weiteren Kartenhintergründen angereichert werden. Eine höhere Datenaktualisierungsrate sowie weitere Umweltdaten (Wind und Niederschläge) können die Bewirtschaftung weiter optimieren.

Eine spätere Kopplung mit Bewirtschaftungsmodellen zum Rechnen von Steuerungsszenarien ist technisch vorstellbar.

Literatur

WSD Mitte (2005): Projektauftrag zur Entwicklung einer Informationsplattform zur überregionalen Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder

Europäische Union - EU (2009): Eckpunkte einer nationalen E-Governmentstrategie, Anlage 1: Ministererklärung von Malmö zum eGovernment vom 18. Nov. 2009, unter
http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Bundesbeauftragte-fuer-Informationstechnik/IT_Rat_Beschluesse/beschluss_53_2010_anlage_1_download.pdf?__blob=publicationFile
(letzter Zugriff 02.02.2012)

Kontakt:
Dietmar Mothes
Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen im Geschäftsbereich des BMVBS
(DLZ-IT)
Am Ehrenberg 8, 98693 Ilmenau
Tel.: 03677/ 669 2220
Fax: 03677/ 669 3333
E-Mail: dietmar.mothes@dlz-it-bvbs.bund.de

Nutzen der ämterübergreifenden Datenbank für die tägliche Arbeit in den Betriebszentralen

Meike Cropp

1 Einleitung

Mit der Überregionalen Informationsplattform zur optimierten Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder (ÜWA) sollte ein Instrument geschaffen werden, das die drei Betriebszentralen in Datteln, Minden und Magdeburg bei ihrer täglichen Arbeit unterstützt. In diesem Beitrag soll dargestellt werden, wie die tägliche Arbeit in den Betriebszentralen bisher verlief und wie sie durch ÜWA zukünftig optimiert werden kann. Erläutert wird dies an der Zusammenarbeit der Betriebszentralen Datteln und Minden.

2 Vorstellung des Kanalsystems mit dem Schwerpunkt Westdeutsches Kanalnetz

Das Kanalsystem zwischen Rhein und Oder ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die weiteren Erläuterungen werden sich auf das in dem roten Rechteck befindliche Gebiet, das Westdeutsche Kanalnetz mit Anschluss an den Mittellandkanal (MLK), beschränken.

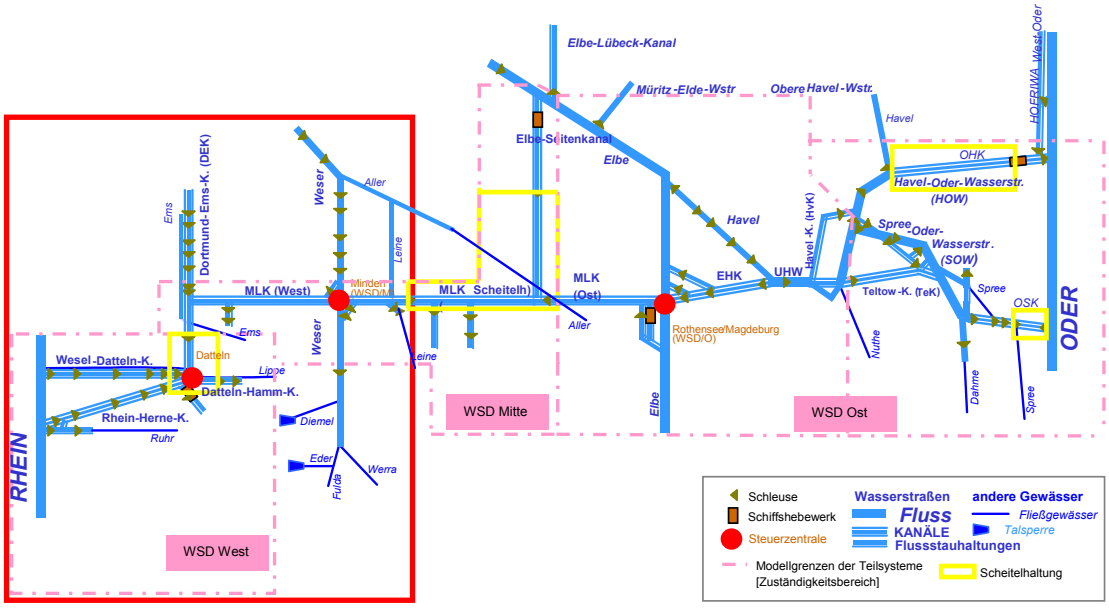


Abb. 1: Wasserstraßen zwischen Rhein und Oder

3 Bisherige tägliche Zusammenarbeit der Betriebszentralen Datteln und Minden

Die bisherige Zusammenarbeit stellt sich so dar, dass täglich am Morgen verschiedene Daten telefonisch übermittelt werden. Die Betriebszentrale (BZ) Datteln übermittelt folgende Daten an die BZ Minden:

> die Schleusungsmengen (in m³) der Schleusengruppe Münster vom Vortag
> die Pumpmengen (in m³) des Pumpwerks Münster vom Vortrag
> die Entlastungsmengen (in m³) des Entlastungsbauwerks Fuestrup vom Vortag
> das Tagesmittel (in m³/s) der Einspeisung von Lippewasser in das Westdeutsche Kanalnetz in Hamm

Außerdem werden nachstehende Daten von der BZ Minden an die BZ Datteln weitergegeben:

> die Pumpmengen (in m³) des Pumpwerks Minden
> die Entlastungsmengen (in m³) über die Kanalturbine Minden
> die Entlastungsmengen (in m³) über die Pumpen im Pumpwerk Minden
> der Wasserstand des Pegels Recke
> der Cl-Wert (in mg/l) in Bramsche

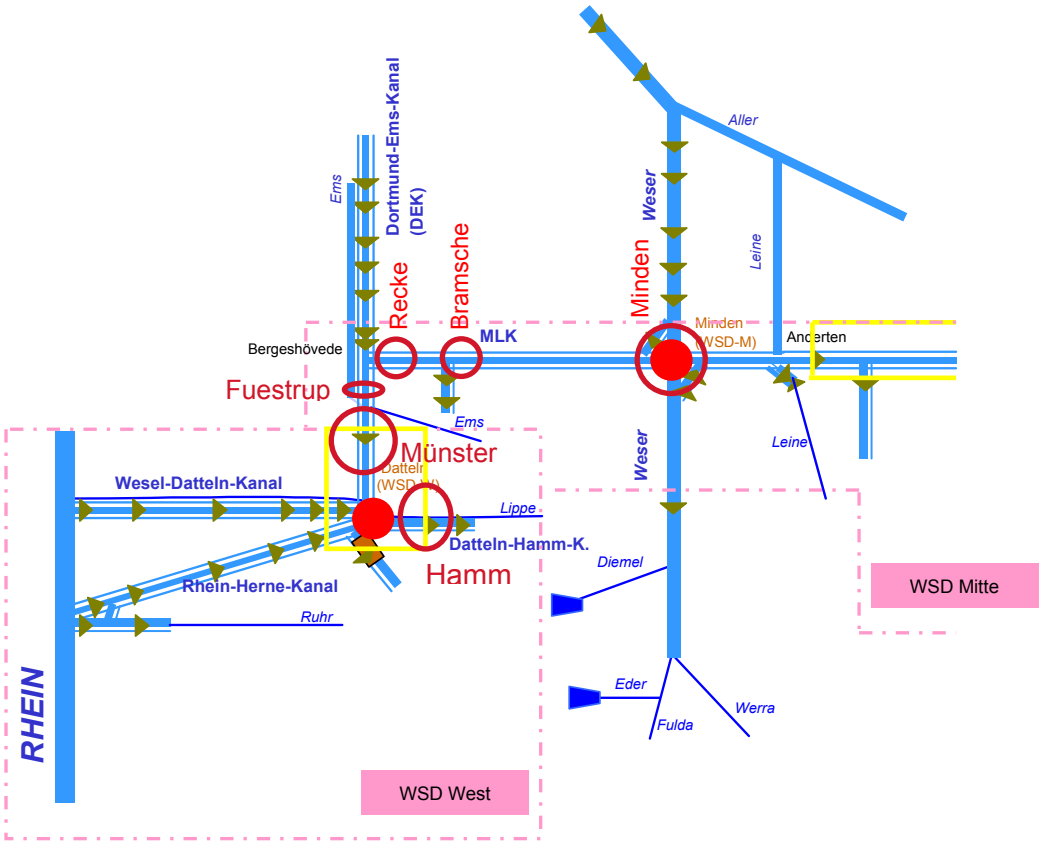


Abb. 2: Wasserstraßen des Westdeutschen Kanalnetzes mit Darstellung der für die BZ Minden und Datteln relevanten Ereignisorte

Diese Daten werden für die tägliche Bewirtschaftungsplanung der jeweiligen BZ benötigt. Dadurch kann vermieden werden, dass die beiden BZ in dem von beiden BZ bewirtschafteten Bereich zwischen Münster und Bergeshövede gegeneinander arbeiten. So kann eine optimierte Wasserbewirtschaftung sichergestellt werden.

Darüber hinaus werden besondere Ereignisse, die einen gemeinsam bewirtschafteten Bereich betreffen, wie z. B.

- starker Winddruck auf den Kanal und dadurch stark erhöhte oder abgesenkte Pegelstände in einzelnen Haltungsbereichen,
- Starkregenereignisse auf den Kanal und dadurch drohende erhöhte Pegelstände,
- Bauwerksausfälle oder Beschädigungen, die eine Beeinträchtigung der Wasserbewirtschaftung nach sich ziehen, Beispiel: Dammbruch an der Hase im vergangenen Jahr,

telefonisch an die benachbarte Betriebszentrale gemeldet und ein gemeinsames Vorgehen abgestimmt.

Jede Bewirtschaftungszentrale ist nur auf den eigenen Bereich konzentriert, eine überregionale Bewirtschaftung findet bisher nicht statt.

Lediglich für die überlappenden Bereiche (hier: Haltung DEK Münster bis MLK Anderten) werden Absprachen getroffen.

4 Abfragemöglichkeiten der Überregionalen Informationsplattform zur optimierten Wasserbewirtschaftung (ÜWA)

Damit durch ÜWA den BZ die notwendigen Informationen zur Verfügung gestellt werden können, muss jede BZ bestimmte Informationen ihres Bewirtschaftungsbereiches bereitstellen. Folgende Daten werden in ÜWA eingelesen und verarbeitet (Abb. 3):

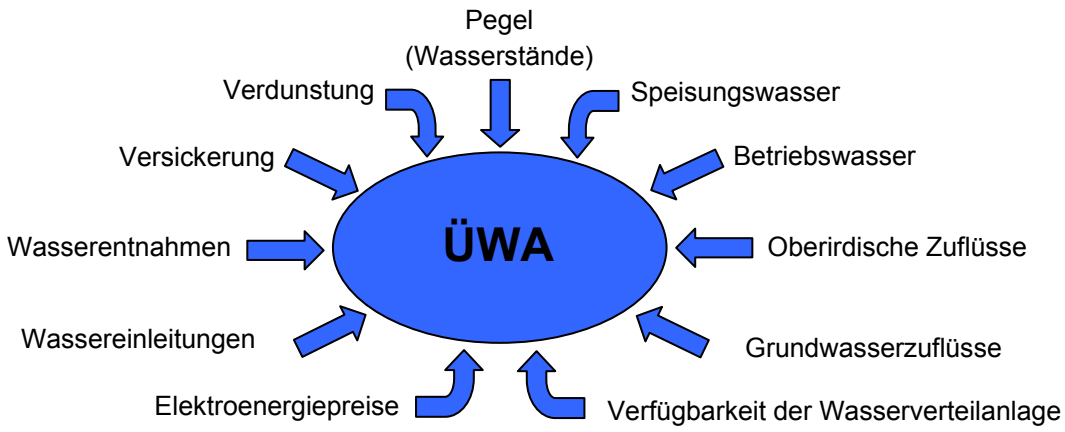


Abb. 3: Eingangsdaten für ÜWA

ÜWA bietet dann verschiedene Funktionen, um die gewünschten Daten abzufragen. Im Folgenden werden einige Abfragemöglichkeiten dargestellt.

4.1 Darstellung des Kanalsystems in ÜWA

Das Kanalsystem wird in ÜWA in einer einfachen und übersichtlichen Systemskizze dargestellt (Abb. 4):

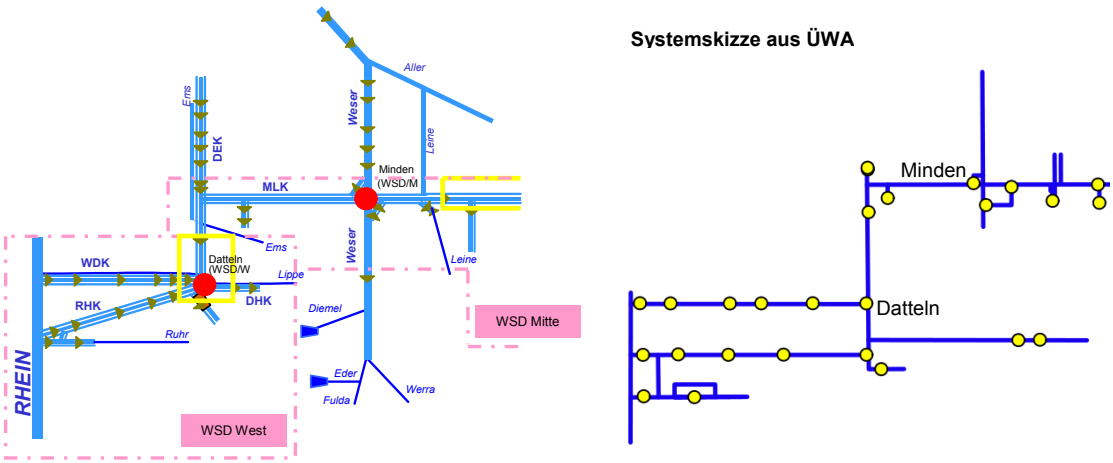


Abb. 4: Darstellung des Kanalsystems in ÜWA

In dieser werden die verschiedenen Fachthemen mit Hilfe unterschiedlicher Symbole angezeigt. Die Fachthemen können als einzelne Layer zugeschaltet werden. So wird die Darstellung übersichtlicher (Abb. 5).

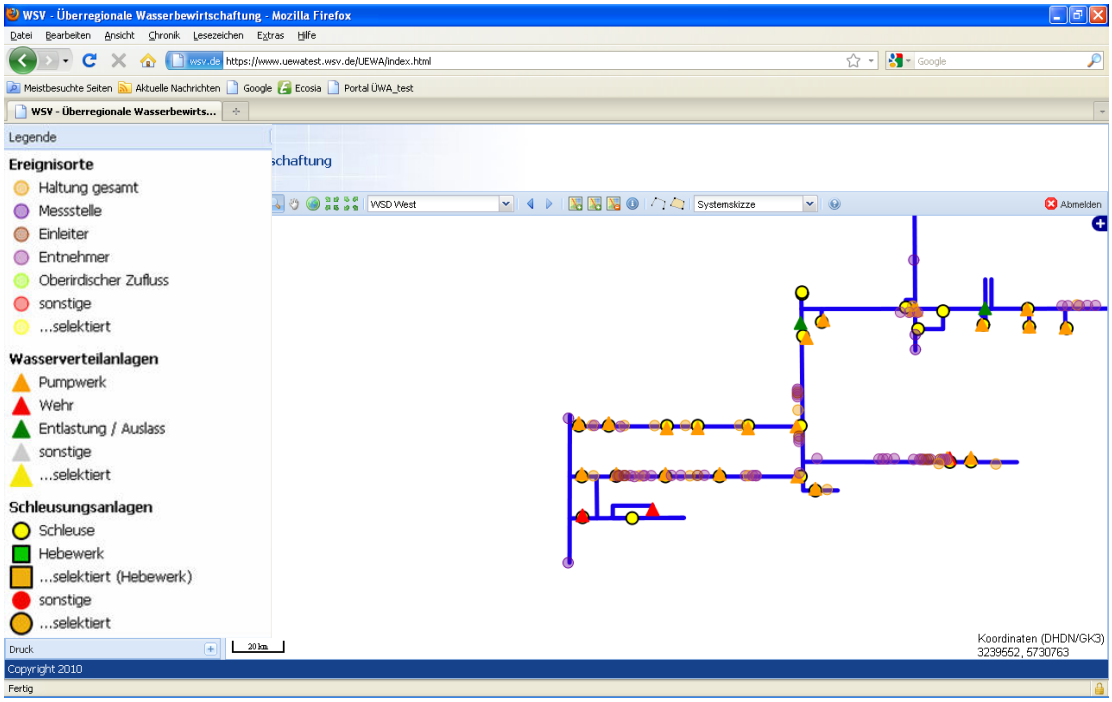


Abb. 5: Anzeige der verschiedenen Fachthemen mit Legende

4.2 Darstellung der Schleusungsanlagen in ÜWA

Durch das Anklicken der Symbole für Schleusen können verschiedene Daten zu den einzelnen Schleusungsanlagen angezeigt werden (Abb. 6). Neben den allgemeinen Daten wie Name/Anzahl der Schleusenkammern, Hubhöhe, Länge, Breite, Verlustwasser je Kammerfüllung und Anzahl der jeweils vorhandenen Sparbecken können auch für jeden Tag z. B. die Anzahl der Schleusungen und das hierbei verbrauchte Verlustwasser abgefragt werden (Abb. 7).

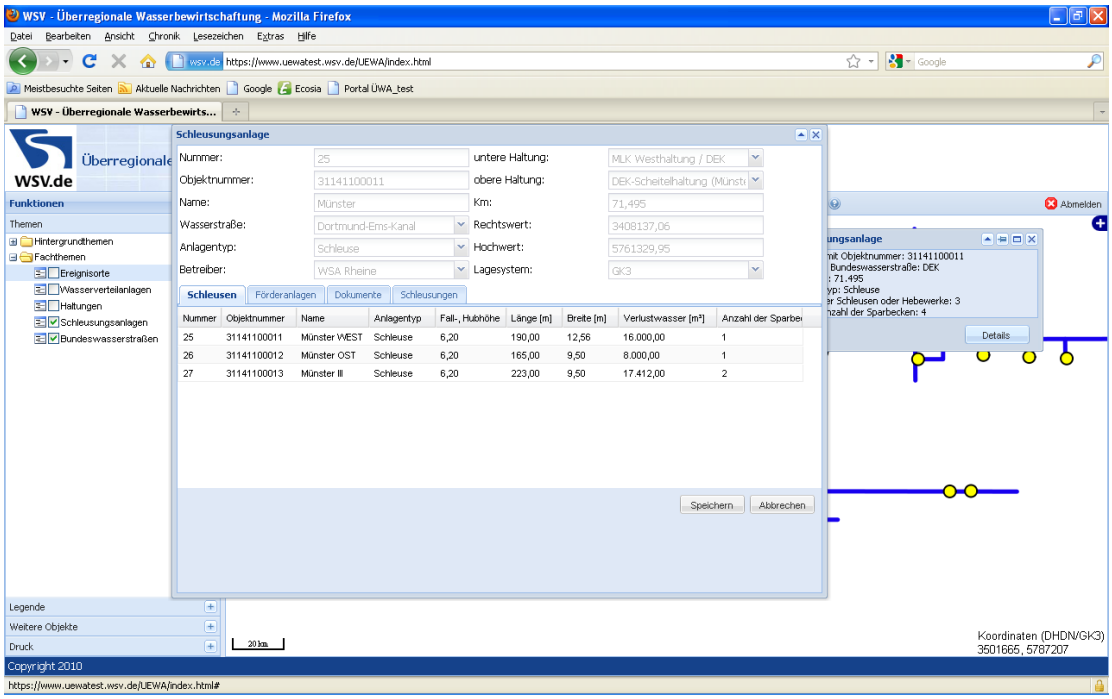


Abb. 6: Anzeige der Stammdaten der einzelnen Schleusenkammern, hier: Schleusengruppe Münster

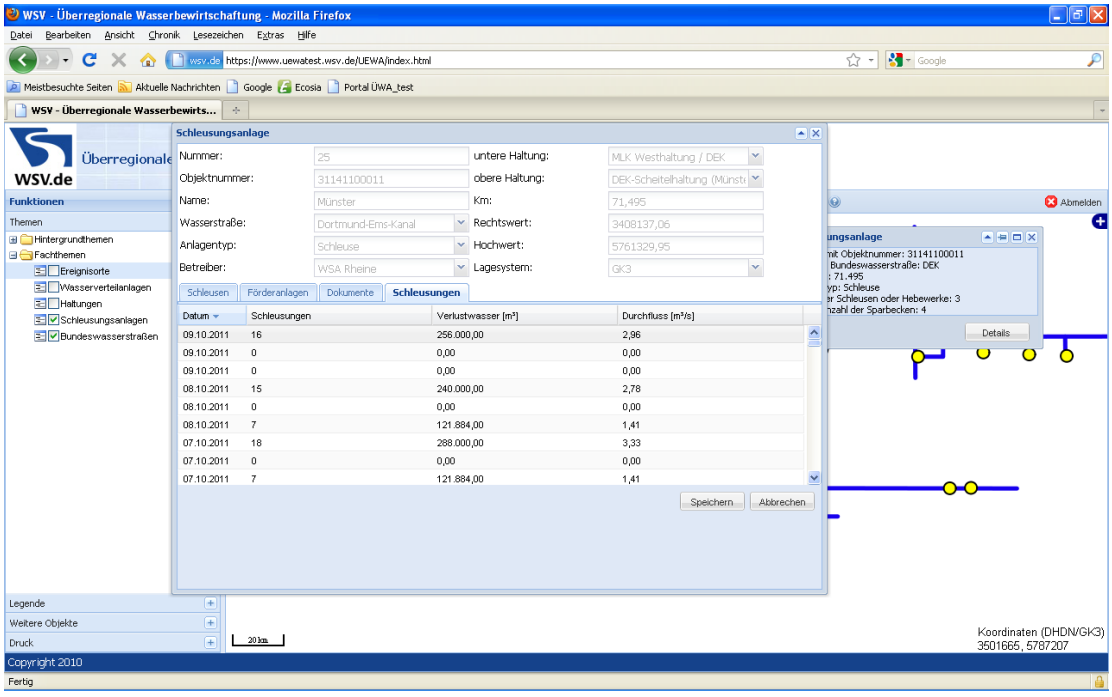


Abb. 7: Anzeige der Tagesdaten der einzelnen Schleusenkammern, hier: Schleusengruppe Münster

4.3 Darstellung der Wasserverteilanlagen in ÜWA

Ähnlich wie bei den Schleusen ist auch die Abfrage für die Wasserverteilanlagen aufgebaut. Im ersten Schritt werden nach Anklicken des Symbols einer Wasserverteilanlage auf der Systemskizze die allgemeinen Daten wie Name/Anzahl der zur Wasserverteilanlage gehörigen Förderanlagen, Kapazität, Förder-Fallhöhe und Anlagentyp angezeigt (Abb. 8).
Darüber hinaus können nach Anklicken einer Förderanlage neben den aktuellen Energiepreisen und den Verfügbarkeiten auch das von dieser Förderanlage geförderte Volumen (Speisungen) für jeden Tag abgefragt werden (Abb. 9).

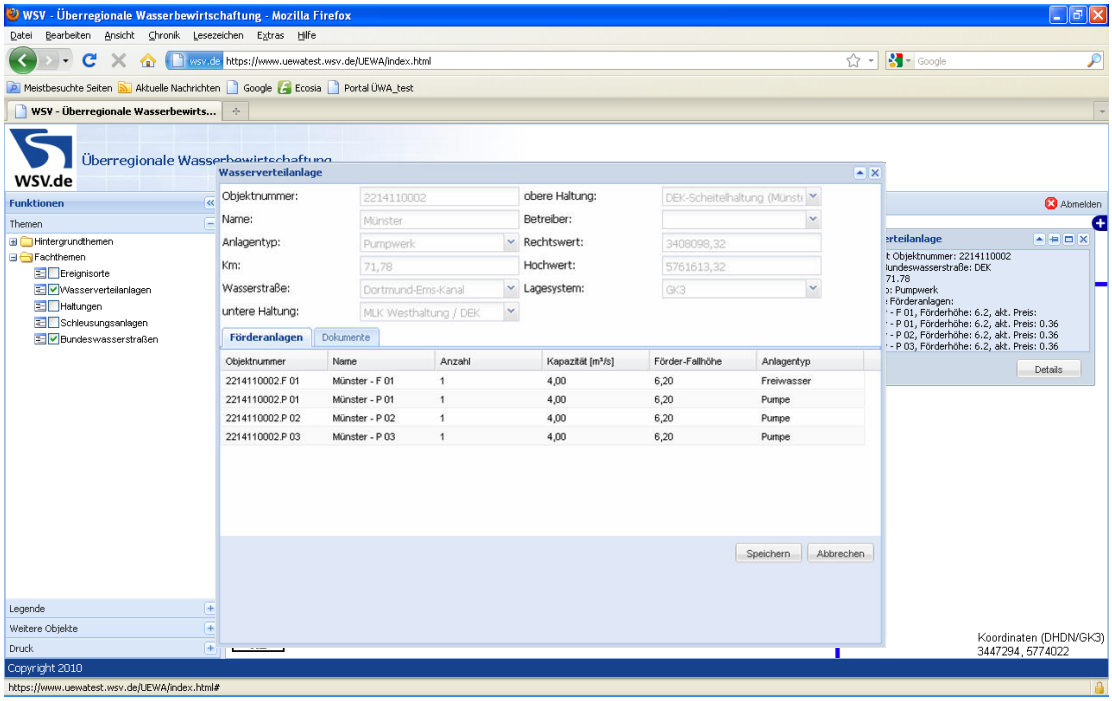

WSV - Überregionale Wasserbewirtschaftung - Mozilla Firefox
Überregionale Wasserbewirtschaftung
WSV.de
Wasserverteilanlage
Objektnummer: 2214110002
Name: Münster
Anlagentyp: Pumpwerk
Km: 71,78
Wasserstraße: Dortmund-Ems-Kanal
untere Haltung: MLK Westhaltung / DEK
obere Haltung:
Betreiber:
Rechtswert: 3408098,32
Hochwert: 5761613,32
Lagesystem: GK3
Förderanlagen
Dokumente
Objektnummer | Name | Anzahl | Kapazität [m³/s] | Förder-Fallhöhe | Anlagentyp
2214110002.F 01 | Münster - F 01 | 1 | 4,00 | 6,20 | Freiwasser
2214110002.P 01 | Münster - P 01 | 1 | 4,00 | 6,20 | Pumpe
2214110002.P 02 | Münster - P 02 | 1 | 4,00 | 6,20 | Pumpe
2214110002.P 03 | Münster - P 03 | 1 | 4,00 | 6,20 | Pumpe
Speichern
Abbrechen
Koordinaten (DHDN/GK3)
3447294, 5774022
Copyright 2010

Abb. 8: Anzeige der Stammdaten der einzelnen Förderanlagen, hier: Wasserverteilanlage Münster

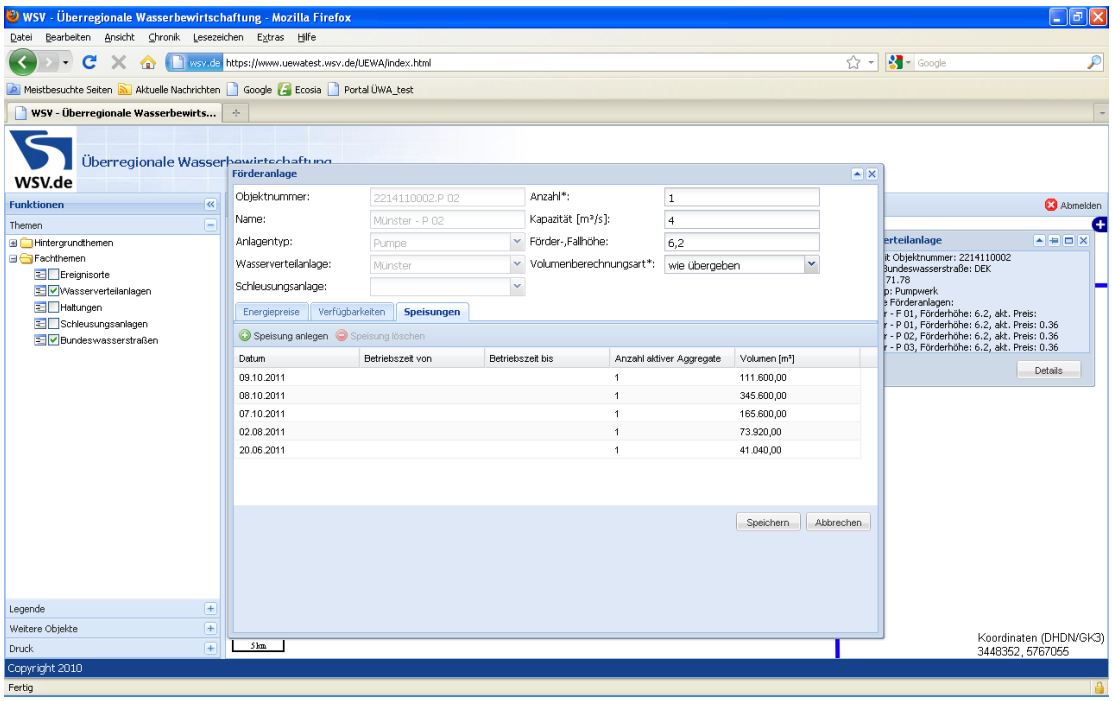


Abb. 9: Anzeige der Tagesspeisungsmengen der einzelnen Förderanlagen, hier: Wasserverteilanlage Münster

5 Beispiel für eine verbesserte Zusammenarbeit der Betriebszentralen durch ÜWA

Die Verfügbarkeit von Bewirtschaftungsdaten aus dem gesamten Bewirtschaftungsraum zwischen Rhein und Oder erlaubt nun, auch Bewirtschaftungskonzepte über die Bewirtschaftungsgrenze der einzelnen BZ hinaus aufzustellen.

Ein Beispiel ist folgende Fragestellung:
Ist es kostengünstiger, das in der Scheitelhaltung des westdeutschen Kanalsystems benötigte Wasser über den Rhein-Herne-Kanal oder über das Pumpwerk Münster zu pumpen?

Hierbei ist zu beachten, dass Wasser, das einer Haltung entnommen wird, dieser zur Beibehaltung des erforderlichen Sollwasserstandes auch wieder zugeführt werden muss.
Das heißt, dass bei einer Wasserentnahme aus der Haltung Münster-Anderten über das Pumpwerk Münster durch die BZ Datteln zum Ausgleich des Wasserverlustes in Minden über das Hauptpumpwerk Minden aus der Weser durch die BZ Minden Wasser in die Haltung gepumpt werden muss. Genauso muss beim Pumpen über das Pumpwerk Herne-Ost die ganze Pumpwerkskette bis zur Ruhr betrieben werden, da sonst der Wasserstand in den einzelnen Haltungen nicht gehalten werden kann.

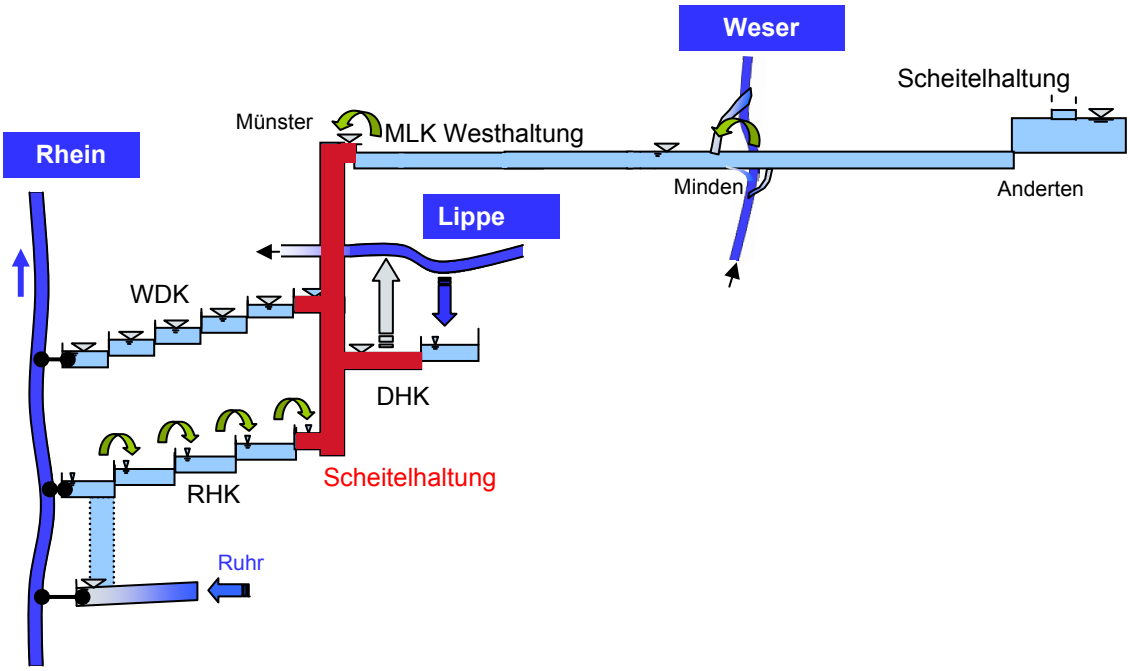


Abb. 10: Speisungsmöglichkeiten für die Scheitelhaltung des Westdeutschen Kanalsystems

Für eine grundsätzliche Betrachtung der oben genannten Fragestellung muss

- analysiert werden, welche und wieviele Pumpen jeweils über das Pumpwerk Münster bzw. den Mittellandkanal geschaltet werden müssten
- analysiert werden, welche und wieviele Pumpen andererseits über den Rhein-Herne-Kanal geschaltet werden müssten
- ermittelt werden, wie hoch die Pumpkosten über die Pumpwerke Münster und Minden sind
- ermittelt werden, wie hoch die Pumpkosten über die Pumpwerke am Rhein-Herne-Kanal sind

Aus den dann erhaltenen Daten wird ersichtlich, ob es überregional gesehen wirtschaftlicher ist, zur Speisung der Scheitelhaltung des Westdeutschen Kanalsystems über das Pumpwerk Münster und Minden oder über den Rhein-Herne-Kanal zu pumpen. Das Bewirtschaftungskonzept kann dann entsprechend angepasst werden.

6 Fazit und Ausblick

ÜWA ermöglicht nun den unkomplizierten und jederzeit möglichen Datenaustausch unter den Betriebszentralen.

Alle Betriebszentralen erhalten einen detaillierten Einblick in die Bewirtschaftungssituation der jeweils anderen Betriebszentralen. Dadurch ist eine übergreifende Planung und Optimierung der eigenen Bewirtschaftungsstrategie möglich. Außerdem erfolgt die Bewirtschaftung ressourcenschonend und wirtschaftlich.

In besonderen Bewirtschaftungssituationen, wie z. B. Wassermangel oder Hochwasser, kann das Wasser weiträumiger verteilt werden, z. B. bei Trockenheit im Osten könnte Wasser aus dem Rhein über die Kanalnetze West und Mitte in das Kanalnetz Ost übergeleitet werden.

Durch einen weiteren Ausbau von ÜWA, beispielsweise durch Erhöhung der Frequenz der Datenübermittlung aus den Betriebszentralen an ÜWA, könnte die Bewirtschaftung in den BZ noch aktueller und transparenter dargestellt werden.

Kontakt:
Meike Cropp
Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg Meiderich
Fernsteuerzentrale Wasserversorgung Datteln
Kanalweg 19
45711 Datteln
Tel.: 02363/ 5683 410
Fax: 02363/ 55709
E-Mail: meike.cropp@wsv.bund.de

Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt – Modellierung des Wasserhaushalts als Randbedingung für ein Bewirtschaftungsmodell

Thomas Maurer und Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach

1 Einleitung

Das einzugsgebietsübergreifende Kanalsystem von Rhein bis Oder verbindet die Flussgebiete Rhein, Ems, Weser, Elbe und Oder. Es hat eine Gesamtlänge von ca. 1300 km, besteht aus 25 Haltungen (einschließlich vier Scheitelhaltungen), zwei Schiffshebewerken sowie 84 Schleusen zur Überwindung von Höhenunterschieden. Die Speisung mit oder Entlastung von Wasser wird durch 30 Pumpwerke und Wehre an 30 Standorten realisiert. Das System setzt sich zu etwa 50 % aus Kanalstauhaltungen, zu 20 % aus Flussstauhaltungen und zu 30 % aus frei fließenden Gewässern zusammen. Die Ost-West-Verbindung ist dabei von künstlich erstellten Kanal- und Flussstauhaltungen dominiert (Abb. 1), die jedoch mit der Umwelt über Zu- und Abflüsse interagieren, die beschrieben werden müssen.

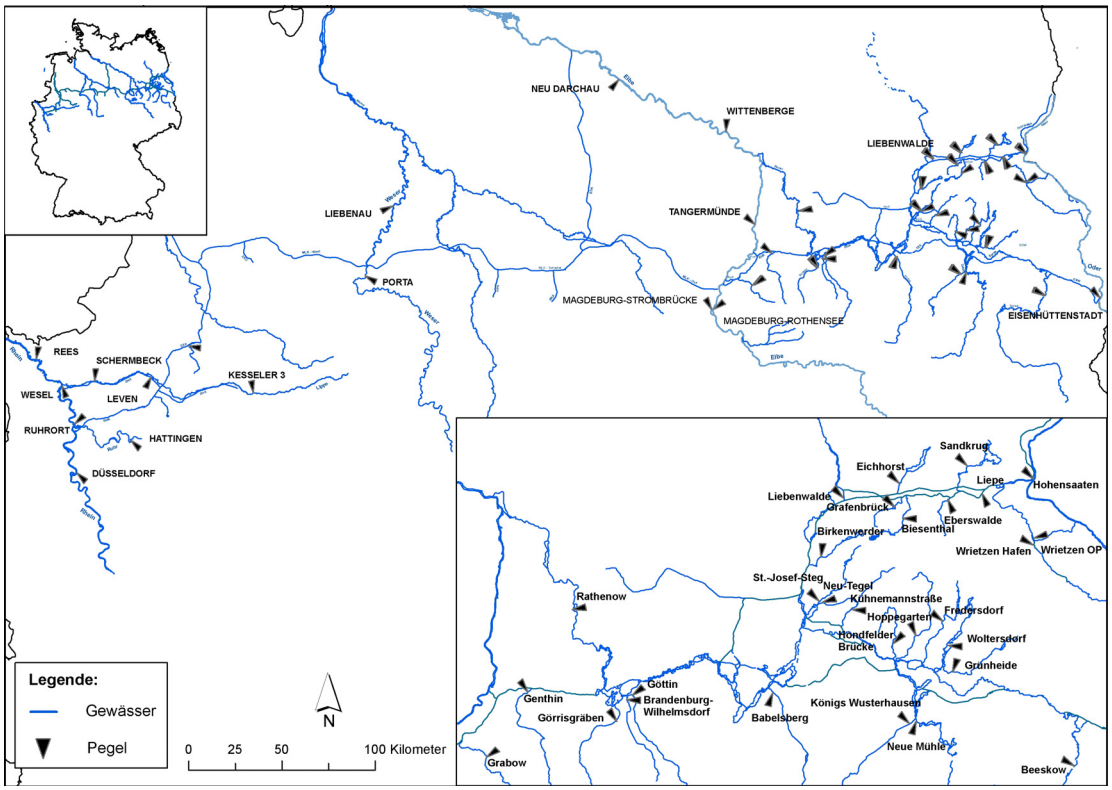


Abb. 1: Das einzugsgebietsübergreifende Kanalsystem von Rhein bis Oder

Das Gebiet ist grob gesehen durch ein von West nach Ost abnehmendes Wasserdargebot charakterisiert (Rheinabfluss ~ 400 mm/a ~ 40 % des Niederschlags, Elbeabfluss ~ 180 mm/a ~ 30 % des Niederschlags). Entsprechend kann der Wasserbedarf der Haltungen für Schifffahrt, Industrie, Landwirtschaft und Ökologie nicht ohne Weiteres aus dem jeweils lokal bzw. jahreszeitlich verfügbaren Wasserdargebot befriedigt werden, weshalb eine Bewirtschaftung des Wasserdargebots, d. h. eine Umverteilung in Raum und Zeit, erforderlich ist.

2 Bewirtschaftungsmodell

Die Bewirtschaftung und Steuerung des Systems obliegt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Die zuständigen Betriebszentralen Datteln, Minden und Magdeburg/Rothensee verfolgen dabei das Ziel, nach einheitlichen Grundsätzen und Regeln vorzugehen sowie die Einhaltung der Randbedingungen

- Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt
- nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen
- energetische Optimierung

zu gewährleisten.

Dieses Ziel kann dauerhaft und objektiv nur mit Unterstützung durch Simulationsmodelle erreicht werden, die es erlauben, mögliche Szenarien für die gegenwärtige und zukünftige Wasserbewirtschaftung zu untersuchen und daraus Entscheidungshilfen für die Beurteilung von Änderungen (des Betriebs, der Anlagen, des Wasserdargebots, der wasserwirtschaftlichen Nutzung) abzuleiten.

Die BfG hat für das einzugsgebietsübergreifende Kanalsystem von Rhein bis Oder unter Verwendung des Modellsystems BEWASYS (Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme) des Karlsruher Institut für Technologie ein Bewirtschaftungsmodell aufgestellt (BEWASYS Rhein-Oder). BEWASYS bildet ein gegebenes Modellgebiet modular durch Systemelemente mit streckenförmigem Charakter (wie Fließgewässer, Talsperren, Kanalstauhaltungen, Flussstauhaltungen) und Systemelemente mit punktförmigem Charakter (wie Schleusenstandorte, Wehre, Entnahmen und Einleitungen) ab. Für alle diskreten Elemente werden dann tägliche Wasserbilanzen berechnet (d. h. Speicheränderungen = $\sum$ Zuflüsse – $\sum$ Abflüsse). Weitere Einzelheiten zu den Grundlagen des Modellsystems (bestehend aus Rechenkern und Bedieneroberfläche für das Pre- und Postprocessing) werden in PREUß & IHRINGER (2012, siehe S. 36ff.) und der dort angegebenen weiterführenden Literatur erläutert. Über die konkrete Modellaufstellung für das Kanalsystem von Rhein bis Oder mit Hilfe dieses Modellsystems (mit den Arbeitsschritten Modellparametrisierung, -kalibrierung, -validierung sowie -plausibilisierung) kann in EBNER VON ESCHENBACH et al. (2012, siehe S. 42ff.) nachgelesen werden, ergänzt um Modellanwendungen für exemplarische Variantenrechnungen.

Der vorliegende Beitrag fokussiert im Folgenden zunächst auf die Ermittlung der Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt, d. h. der Berücksichtigung des natürlichen Wasserdargebots und der Effekte anthropogener Wasserbewirtschaftung bei der Formulierung der Randbedingungen.

3 Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt

Das Kanalsystem ist überwiegend ein künstliches, linienhaftes Bauwerk, dessen Kopplung mit seiner Umwelt unterschiedlich ausgeprägt ist. Grundsätzlich können linienhafte und punktuelle Kopplungen unterschieden werden. An der Oberfläche kreuzen sich Vorfluter durchschnittener Einzugsgebiete mit der Wasserstraße (entweder mit der oder ohne die Möglichkeit des punktuellen Wasseraustausches) oder die Wasserstraße dient als Vorfluter. Linienhaft kommt es u. U. zum Austausch mit dem Grundwasserkörper sowie natürlich über die gesamte Oberfläche des Kanalsystems mit der Atmosphäre (Niederschlag und Verdunstung). Abbildung 2 stellt die verschiedenen Zu- und Abflüsse in das bzw. aus dem Kanalsystem schematisch dar.

Die Prozesse in den umliegenden Gebieten sind mehr oder weniger intensiv mit dem durch BEWASYS abgebildeten Kanalsystem gekoppelt und müssen entsprechend mehr oder weniger aufwendig abgebildet werden. Unterschieden werden können reine Zuflussgebiete, denen das Kanalsystem als Vorfluter dient und deren Zufluss unabhängig von der Bewirtschaftung des Kanalsystems ermittelt werden kann. Andere Gebiete stehen in einem mehr oder weniger intensiven Austausch entsprechend situationsbezogener Bewirtschaftungsregeln (gesteuerte Entnahmen oder Zugaben) oder aufgrund natürlicher physikalischer Kopplung (z. B. Kanalwasserstand und Grundwasserstand). Schließlich gibt es auch Gebiete, die entweder gar nicht mit dem Kanalsystem interagieren oder lediglich als Vorfluter für Abgaben aus dem Kanalsystem dienen, ohne dass sie auf Letzteres zurückwirken.

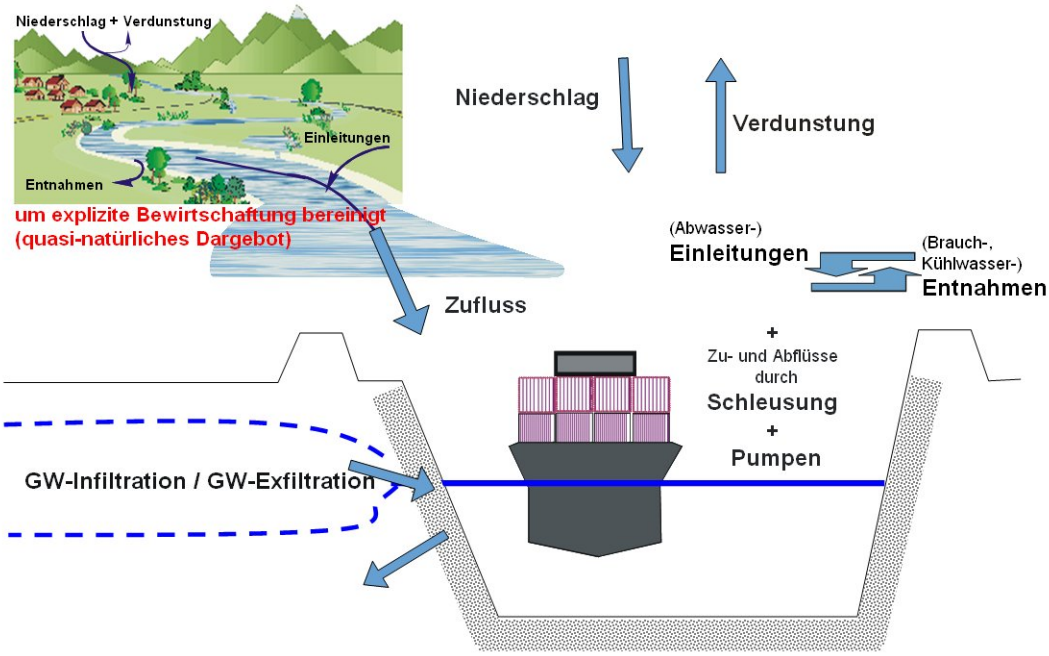


Abb. 2: Schema der Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt

Idealerweise werden alle Kopplungen mit der Umwelt auf Basis umfassender Messdaten und kalibrierter Modelle für die entsprechenden Randsysteme abgeleitet. Dies ist jedoch praktisch nicht möglich, Vereinfachungen müssen getroffen werden.

In der Dokumentation von BEWASYS Rhein-Oder wird detailliert dargelegt, wie die verschiedenen Randbedingungen bzw. Interaktionen für das Modell konkret abgeleitet werden (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011, Abschnitt 4.1). Neben der Ermittlung von Niederschlag und Verdunstung geht es um die Regionalisierung von oberirdischen Zuflüssen nicht messtechnisch erfasster Gebiete einschließlich der Abschätzung von Zwischengebietszuflüssen aus Daten ober- und unterstrom gelegener Pegelstationen. Weiterhin wichtig sind je nach Situation Austauschmengen zwischen Kanal und Grundwasser bzw. die Sickerwasserverluste bei konstruktiv gedichteten Strecken und natürlich die Erfassung und Abbildung der anthropogen bedingten Einleitungen und Entnahmen sowie die Anzahl der täglichen Schleusungsvorgänge.

Der Anspruch an die Genauigkeit der angewandten Methoden muss sich dabei nach der Relation der Größenordnung unterschiedlicher Randbedingungen richten. Der Aufwand zur Ermittlung relativ weniger bedeutenderer Komponenten kann klein gehalten werden. Manchmal lässt aber auch die Verfügbarkeit von Daten ohnehin keine andere Wahl.

Nachfolgend wird anhand einiger Beispiele aus der gegenwärtigen Version des Bewirtschaftungsmodells illustriert, wie die genannten Randbedingungen bzw. Interaktionen in einem Modell abgebildet werden können. Weitere Einzelheiten können in EBNER VON ESCHENBACH et al. (2011) nachgelesen werden.

3.1 Niederschlag und Verdunstung

Die Darstellung der verschiedenen Zu- und Abflüsse der Stauhaltung Mittellandkanal West im Jahr 2003 in Abb. 3 illustriert die relativ geringe Bedeutung der auf Basis von Daten und Methoden des Deutschen Wetterdienstes ermittelten Verdunstung von bzw. des Niederschlags auf die Wasseroberfläche dieser speziellen Stauhaltung. Die durch Schleusungen bzw. Pumpvorgänge bewegten Wassermengen liegen etwa eine Größenordnung höher. In einem solchen Fall muss kein besonderer Aufwand betrieben werden, die Verdunstung- und Niederschlagsermittlung zu verbessern.

Dies ist jedoch nicht generalisierbar. Abbildung 4 stellt Wasseroberflächen, Verdunstungs- und Niederschlagshöhen aller Stauhaltungen des Kanalsystems von Rhein bis Oder dar. Deutlich sind dort einige Haltungen zu erkennen, in denen die Austauschmengen über die Wasseroberfläche aufgrund der Aufweitung in natürliche Gewässersysteme erheblich zunehmen und damit – insbesondere in Trockenzeiten – anderweitige Zu- und Abflüsse dominieren können. In diesen Fällen ist der genügend genauen Ermittlung der meteorologischen Randbedingungen eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

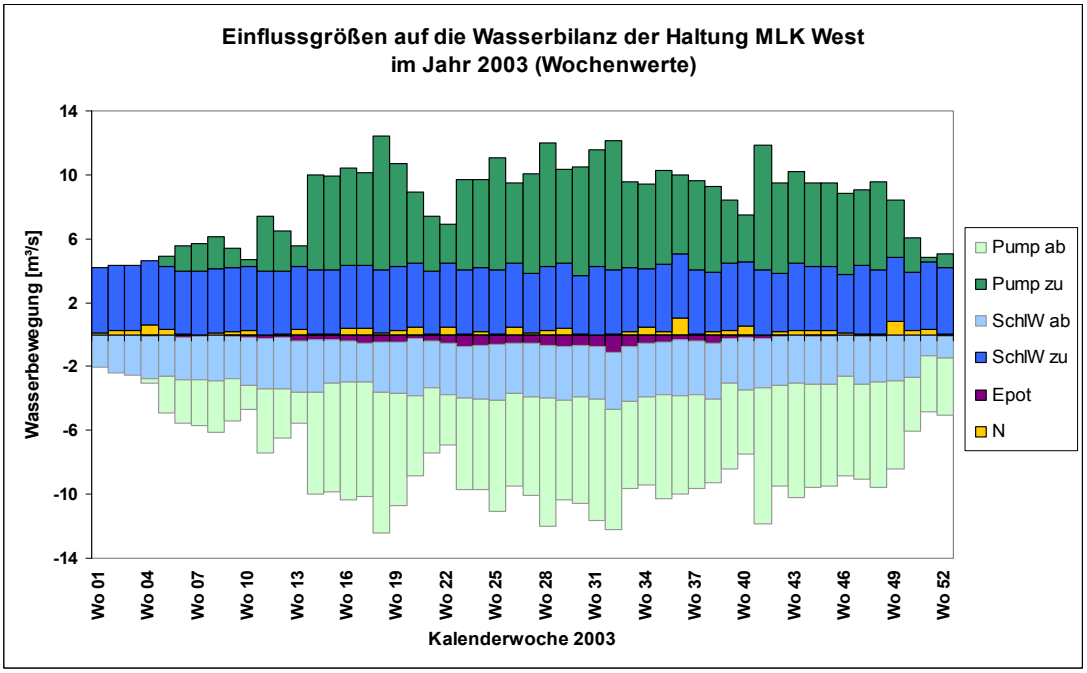


Abb. 3: Verhältnis von verschiedenen Zu- und Abflüssen der Stauhaltung Mittellandkanal West im Jahr 2003

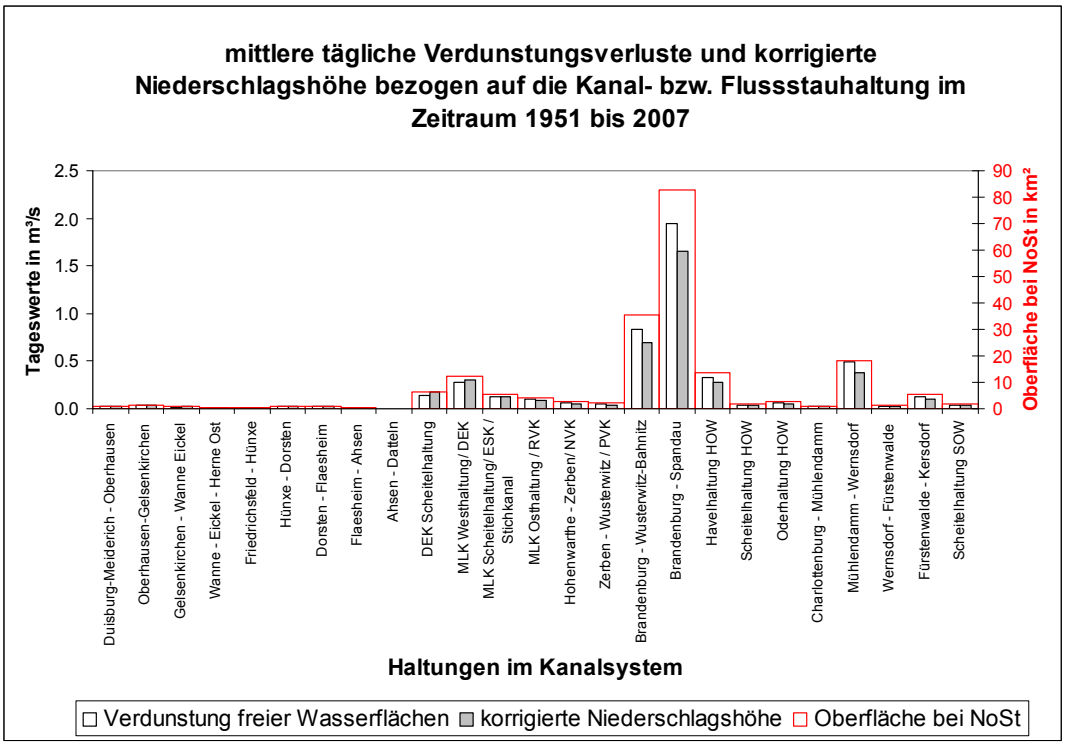


Abb. 4: Mittlere tägliche Verdunstungsverluste und mittlere tägliche korrigierte Niederschlagshöhe der Stauhaltungen des Kanalsystems Rhein-Oder (von West nach Ost) im Zeitraum 1951 bis 2007 in m³/s. Berechnet für die Verhältnisse bei Normalstau (NoSt)

3.2 Zwischengebietszuflüsse

Soweit vorhanden sollten Gebietszuflüsse aus Messdaten ggf. in Kombination mit Wasserhaushaltsmodellen des natürlichen Dargebots ermittelt werden. Dies ist jedoch häufig nicht gegeben bzw. nicht mit angemessenem Aufwand erreichbar. Insbesondere wenn die Genauigkeitsansprüche aufgrund relativ geringerer Bedeutung nicht so hoch sind, reichen ggf. auch sehr einfache Regionalisierungsansätze, etwa eine einzugsgebietsflächenproportionale Extrapolation für Zwischengebiete aus.

In BEWASYS Rhein-Oder wurden solche Ansätze z. B. für die Berücksichtigung verschiedener Zwischengebiete zwischen Pegel Düsseldorf (km 744,2) und Ruhrort (km 780,8) am Rhein, aber z. B. auch für die Ermittlung von Zwischengebietszuflüssen in die Haltung Brandenburg-Bahnitz aus dem unbeobachteten Gebiet rund um den Beetzsee auf Basis beobachteter benachbarter Einzugsgebiete angewendet.

3.3 Interaktion mit dem Grundwasser

Grundlegend für die Ermittlung von Austauschmengen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer ist zunächst die Frage nach der Abdichtung der Stauhaltung bzw. ihrer Kanäle gegenüber dem Grundwasserkörper. Bei sehr guter Dichtung und ggf. ohnehin anderen überwiegenden Komponenten der Wasserbilanz kann auf die Ermittlung des Austausches mit dem Grundwasser verzichtet werden bzw. kann der Genauigkeitsanspruch gering bleiben. Andernfalls ist die Kenntnis über die relative Lage der Grundwasseroberfläche zur Höhenlage des Kanalwasserspiegels im Jahresverlauf entscheidend.

Eine solche Entscheidung muss für jeden Kanalabschnitt getroffen werden. Daten zur Kanaldichtung und Erkenntnisse über Selbstdichtungseffekte spielen ebenso eine Rolle wie Kartierungen der Grundwasserverhältnisse oder entsprechende Modellrechnungen, die sich beide idealer Weise auf langjährige Aufzeichnungen eines Grundwassermessnetzes stützen. Dies war im vorliegenden Fall jedoch nur bei den Abschnitten am Elbe-Havel-Kanal aufgrund einer früheren detaillierten numerischen Untersuchungen gegeben (RICHTER 2003).

Die Ermittlung der Austauschmengen zwischen Kanal und Grundwasser hat für die rund 80 km lange Osthaltung des MLK zwischen den Schleusen Sülfeld im Westen und Rothensee im Osten eine vergleichsweise hohe Bedeutung. Die Stauhaltung durchquert an der Landesgrenze von Niedersachsen und Sachsen-Anhalt das Naturschutzgebiet Drömling, ein Niedermoor-Naturraum mit einer Fläche von ca. 320 km². Der Normalwasserstand des MLK in den nicht gedichteten Strecken entspricht etwa dem mittleren Grundwasserstand des Drömlings. Da jedoch die zeitliche Dynamik von Interesse war, andererseits aber zu den Zuflüssen und der Versickerung in diesem Gebiet keine vieljährigen Messreihen existierten, wurde ein Grundwassermodell zur Simulation der monatlichen Austauschmengen verwendet.

Abbildung 5 zeigt die auf diese Weise simulierten vieljährig gemittelten monatlichen Austauschmengen zwischen der Osthaltung des MLK und dem Grundwasser im Drömlinggebiet für verschiedene mittlere Kanalwasserstände. Je höher der Wasserstand im Kanal ist, desto eher kommt es zu einer Speisung des Drömlings und somit zu einem Abstrom von Kanalwasser.

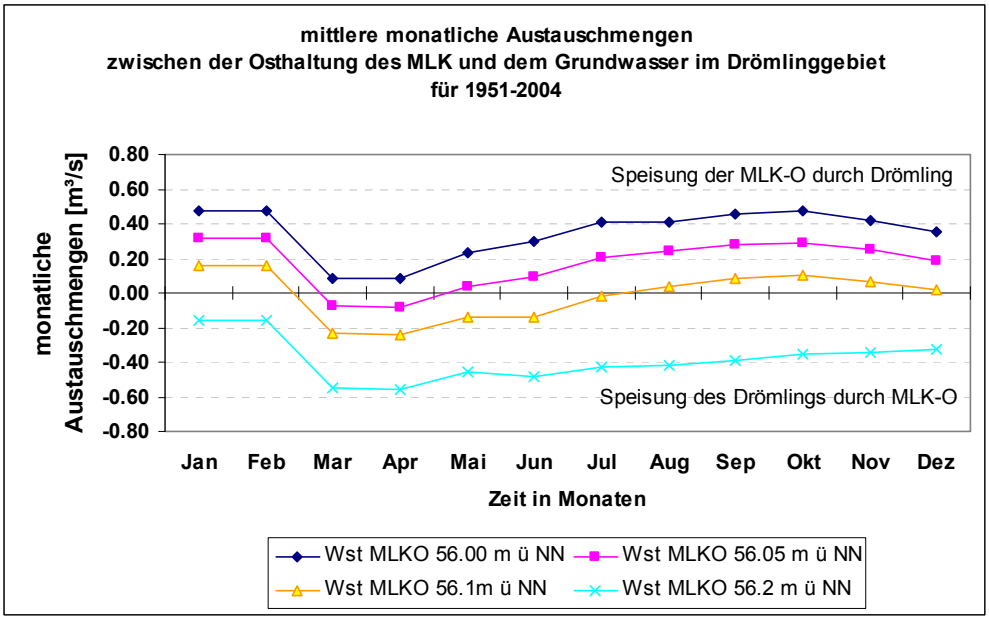


Abb. 5: Simulierte vieljährig gemittelte monatliche Austauschmengen zwischen der Osthaltung des MLK und dem Grundwasser des Drömlinggebiets für verschiedene mittlere Kanalwasserstände

4 Zusammenfassung und Ausblick

Kanal- und Flussstauhaltungen müssen bewirtschaftet werden, um sie jederzeit einsatzbereit zu halten. Die Quantifizierung der Interaktion mit ihrer Umwelt spielt dabei eine wichtige Rolle. Zunächst ist es wichtig, sich der Größenordnungen der einzelnen Komponenten bewusst zu werden, um auf dieser Basis zu entscheiden, welche Komponenten der Wasserbilanz der Stauhaltungen relevant sind und wie genau sie ermittelt werden müssen. In Zusammenschau mit der gegebenen Datenlage kann dann entschieden werden, welchen Aufwand man betreiben muss, um eine gewünschte Mindestgenauigkeit der Aussagen zu erreichen oder alternativ, um abschätzen zu können, welche Aussagegenauigkeit man bei einer gegebenen Datenlage und/oder einem betreibbaren Aufwand erwarten kann.

Zu betrachten sind dabei neben den meteorologischen Randbedingungen (Niederschlag, Verdunstung) die (quasi-natürliche) Zuflüsse (Dargebot), Wassereinleitungen und -entnahmen sowie die Interaktion mit dem Grundwasser.

Mit BEWASYS verfügt die BfG erstmals über ein zusammenhängendes, parametrisiertes und plausibilisiertes Bewirtschaftungsmodell des gesamten Systems der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. Verschiedene Fragestellungen können nun damit bearbeitet werden. Gleichwohl sind Weiterentwicklungen und Verfeinerung weiterhin notwendig, insbesondere auch, was die Modellierung der Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt anlangt. Dies gilt insbesondere, wenn zukünftig komplexere Zukunftsszenarien unter Berücksichtigung von Klimawandel, aber auch möglichen gesellschaftlichen Entwicklungen durchgespielt werden sollen. Tabelle 1 listet dazu erforderliche Daten bzw. Annahmen.

Tabelle 1
Liste modellierungsrelevanter Geobasis- und Geofachdaten

	Modell-Plausibilisierung anhand der Vergangenheit	Zukunftsszenarien
Wasseroberfläche: N, ET	Klimastationen, DWD-Berechnungen	Klimaszenarien
Explizit angegebene Einleitungen und Entnahmen	Messwerte	Genehmigungsdaten, Bewirtschaftungsszenarien
Anzahl Schleusungen	Messwerte	Verkehrsszenarien
EZG: Zufluss Q, quasi-natürliches Dargebot	Pegeldaten, lineare Regression von Referenzpegeln	stochastische Simulation über N, Q, EZG-Modelle, Klimaszenarien
GW: Zu- und Abstrom	Abschätzung mittlerer Austauschraten	aufwendigere GW-Modelle

Literatur

BRUDY-ZIPPELIUS, T. (2003): Wassermengenbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Ruhr: Simulation und Echtzeitbetrieb, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 42-53

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, J. IHRINGER, P. PREUß, K. RICHTER (2011): Modellierung der Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder mit dem Tageswertmodell BEWASYS. Tag der Hydrologie 2011 in Wien. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 30.11, S. 186-192.

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, S. KRAUSE, R. OPPERMANN, K. RICHTER, H. - J. THEIS (2011): BEWASYS Rhein-Oder. Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1730.

LOUCKS, D.P., E. VAN BEEK (2005): Water resources systems planning and management. An introduction to methods, models and applications. Studies and Reports in Hydrology, UNESCO PUBLISHING.

PREUß, P., J. IHRINGER, W. FINKE (2007): Wasserbewirtschaftung von Bundeswasserstraßen: Modellanforderungen und Umsetzung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 20.07, Band 1, S. 157-168, ISBN 978-3-940173-04-1.

PREUß, P., J. IHRINGER (2012): BEWASYS – Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Kanal- und Flussstauhaltungen. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 36-41

RICHTER, K. (2003): Ermittlung des Wasserdargebotes und der Grundwasserneubildung für das Einzugsgebiet des Elbe-Havel-Kanals. Teilbericht, Anlage 1 zum Bericht „Wasserbewirtschaftungsmodell auf Tageswertbasis für die Bundeswasserstraßen des Projektes 17 von Berlin bis zur Schleuse Sülfeld“. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1357 im Auftrag des WNA Magdeburg und des WNA Berlin

Kontakt:
Dr. Thomas Maurer
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5242
Fax: 0261/ 1306 5671
E-Mail: thomas.maurer@bafg.de

BEWASYS – Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Kanal- und Flussstauhaltungen

Patrick Preuß und Jürgen Ihringer

1 Einleitung

Durch Landnutzungsänderungen, Ausbaumaßnahmen und anthropogene sowie klimatische Einflüsse unterliegen Wasserdargebot und Wasserbedarf wasserwirtschaftlicher Systeme einem ständigen Wandel. Um die gesamte wasserwirtschaftliche Situation beliebiger Gewässer- und Kanalsysteme zu erfassen und Lösungsmöglichkeiten zur Deckung des (zukünftigen) Bedarfs aufzuzeigen, wurde am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung das Programmpaket BEWASYS zur langfristig optimalen Bewirtschaftung von komplexen wasserwirtschaftlichen Systemen entwickelt.

Für den Einsatz wurde BEWASYS so konzipiert, dass es dem Anwender als Entscheidungshilfe sowohl für einen optimalen Betrieb, zur Planung, aber auch zur Beweissicherung dienen kann. Hierbei können Auswirkungen von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen (z. B. Betriebsregeln oder Systemänderungen) simuliert und die Folgen auf z. B. Wasserstände, Abflüsse und Defizite im System aufgezeigt werden. Aktuell kommt BEWASYS bei der „Überregionalen Wasserbewirtschaftung Rhein-Oder“, bei der „Bewirtschaftung der Edertalsperre“ und bei der „Wassermengenbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Ruhr“ zum Einsatz.

2 Modellüberblick

Das Modellsystem BEWASYS wurde bis zum Jahr 2003 von Dr.-Ing. Thomas Brudy-Zippelius im Rahmen seiner Dissertation (BRUDY-ZIPPELIUS 2003) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) konzipiert, entwickelt und angewandt. Es bietet die Möglichkeit, definierte wasserwirtschaftliche Bausteine beliebig anzulegen und miteinander zu verknüpfen. Dabei können Kanalstauhaltungen, Flussstauhaltungen, Gewässer und Speicher eingefügt werden. Verbindungsmöglichkeiten sind Anschlüsse, Pumpen, Wehre, Freileitungen, Schleusen und Überleitungen. Zusätzlichen können an Knoten Zuflüsse und Entnahmen angesetzt werden, als konstanter Wert, als Zeitreihe oder in Abhängigkeit. Für spezielle Fälle hat der Anwender die Möglichkeit, über eine offene Programmierschnittstelle (API) in den Modellablauf einzugreifen, etwa wenn überregional bewirtschaftet werden soll. Um eine ausreichende Genauigkeit zu gewährleisten, kann BEWASYS wahlweise im Tages- oder Stundenzeitschritt betrieben werden.

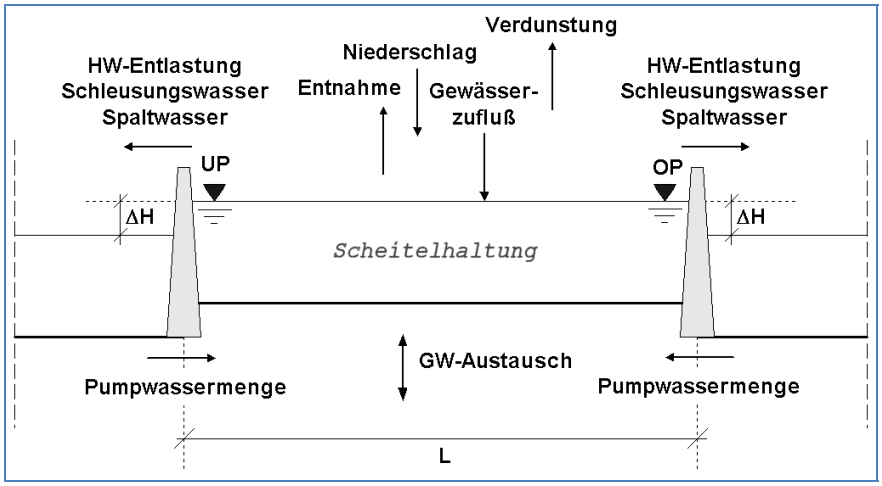


Abb. 1: Kanalstauhaltung mit Belastungsgrößen

In Abb. 1 ist ein Beispiel für ein Systemelement dargestellt, eine Kanalstauhaltung (Scheitelhaltung). Neben Störgrößen wie Niederschlag, Verdunstung, Versickerung, Zuflüsse und Entnahmen, gehen in die Modellrechnung noch die Werte zur Parametrisierung der Haltung ein (Wasserstand-Volumen-Beziehung, Oberfläche, Länge, Startwert, Grenzwasserstände, Schleusen, Pumpen, Wehre).

Für einen genaueren Einblick in die Möglichkeiten und Grenzen des Modells sei auf die Literatur im Anschluss verwiesen, folgend werden die Weiterentwicklungen am Modellkern und der Benutzerschnittstelle, ausgelöst durch die aktuellen Projekte, aufgezeigt. Verwiesen sei auch auf die Beiträge von EBNER VON ESCHENBACH et al. (2012, siehe S. 42ff.) und HOHENRAINER et al. (2012, siehe S. 61ff.).

3 Weiterentwicklung

Nach der Fertigstellung im Jahr 2003 haben sich durch neue Fragestellungen auch neue Anforderungen an das Bewirtschaftungsmodell BEWAYS ergeben. Im Wesentlichen wurden drei Schwerpunkte vorangetrieben: die offene Programmierschnittstelle (API), eine Zeitschrittprognose und die konsequente Trennung von Modellkern und Benutzerschnittstelle (grafische Oberfläche).

3.1 Offene Programmierschnittstelle (API)

BEWASYS bietet standardmäßig eine gewisse ‚Grundfunktionalität' in der Bewirtschaftung des Wasserdargebots mit den möglichen Modellbausteinen und deren Verknüpfungen. Es wurde dabei darauf geachtet, mit möglichst wenigen, einfachen Elementen und Funktionen auszukommen (Knoten und Streckenfunktionen). Im Grundzustand berechnet BEWASYS autark Steuerung und die daraus resultierenden Systemzustände der einzelnen Bausteine (Wasserstände, Abflüsse, Defizite und Überschüsse) entsprechend der vorgegebenen Randbedingungen (Grenzwässerstände). Die Steuermöglichkeiten des Modells im Grundzustand sind Wehre und Schleusen, Überschüsse werden entlastet, bei Defiziten die Schleusungsvorgänge reduziert. Pumpen werden in diesem Zustand nicht variabel gesteuert.

Erfordert ein wasserwirtschaftliches System feinere, spezielle Steuermethoden, z. B. lokal bedingte Wasserüberführungen oder eine überregionale Bewirtschaftung, so reicht die bewusst einfach gehaltene Grundfunktionalität von BEWAYS nicht mehr aus. Für solche Fälle wird unter BEWASYS eine offene Programmierschnittstelle (API) bereitgestellt. Der Benutzer kann mit dieser durch eigene Programmierung entweder in den automatisieren Ablauf eingreifen oder die Steuerung des Systems in der API ganz übernehmen (Steuergrößen: Pumpen und Entlastungen). Dieser Modus wird „manuelle Steuerung“ genannt.

Die offene Programmierschnittstelle bietet dabei einen umfassenden, kontrollierten Eingriff in den Programmablauf des Modells. Der Berechnungskern reicht zu festgelegten Rechenzuständen innerhalb des Ablaufs die Ausführung an die API weiter, um dann, mit entsprechend veränderten Zuständen oder Parametern, fortzufahren. Abbildung 2 zeigt schematisch und vereinfacht in Form eines Flussdiagramms die Aufrufe der API aus dem Rechenkern (Bemerkung: Es sind nicht alle Aufrufe dargestellt.).

Beispiel: Es könnte innerhalb des Aufrufs „API() am Knoten“ die Entnahme an einem Knoten des Systems dynamisch verwaltet werden, d. h. zeitlich und entsprechend der aktuellen Systemzustände.

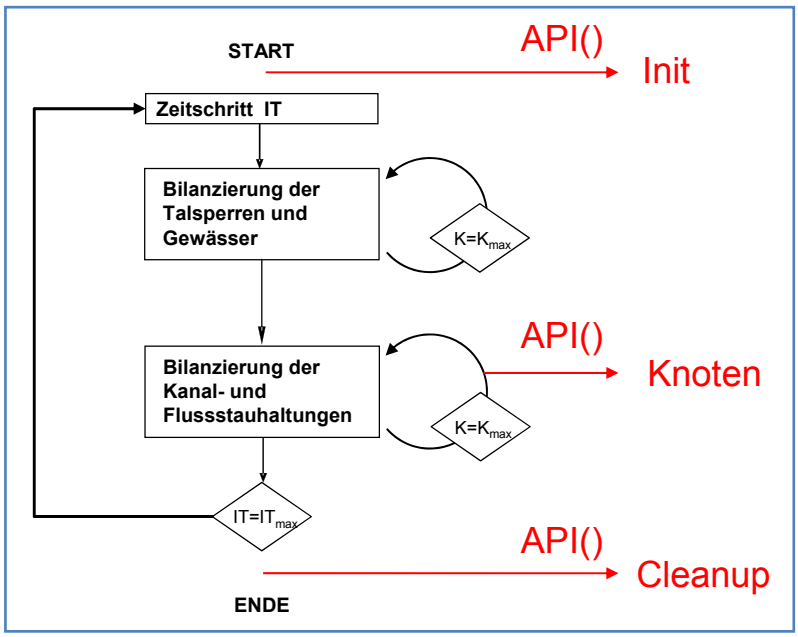


Abb. 2: Flussdiagramm des Rechenablaufs von BEWASYS mit Aufrufen der offenen Programmierschnittstelle (API)

3.2 Prognose

Die überregionale Bewirtschaftung und spezielle Bedarfsdeckung nach Prioritäten im Modellsystem BEWASYS Rhein-Oder hat eine neue Art des Programmablaufs erfordert. Die Regeln zur Wasserüberleitung waren umfangreich, komplex und zustandsabhängig (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011). Hierfür wurde BEWASYS um den Rechenmodus „manuelle Steuerung“ erweitert. Das Modell überlässt der API die Steuerung, bietet dafür zu jedem Zeitschritt eine Prognose der jeweiligen Systemzustände ohne Steuerung an. Das heißt das Modell berechnet jeden Zeitschritt 2x, einmal nur alle statischen Störgrößen beachtend, anschließend ein zweites Mal unter Berücksichtigung der Steuerwerkzeuge (Pumpen, Entlastungen). In Abb. 3 ist das Flussdiagramm um die entsprechende Schleife „Prognose“ erweitert.

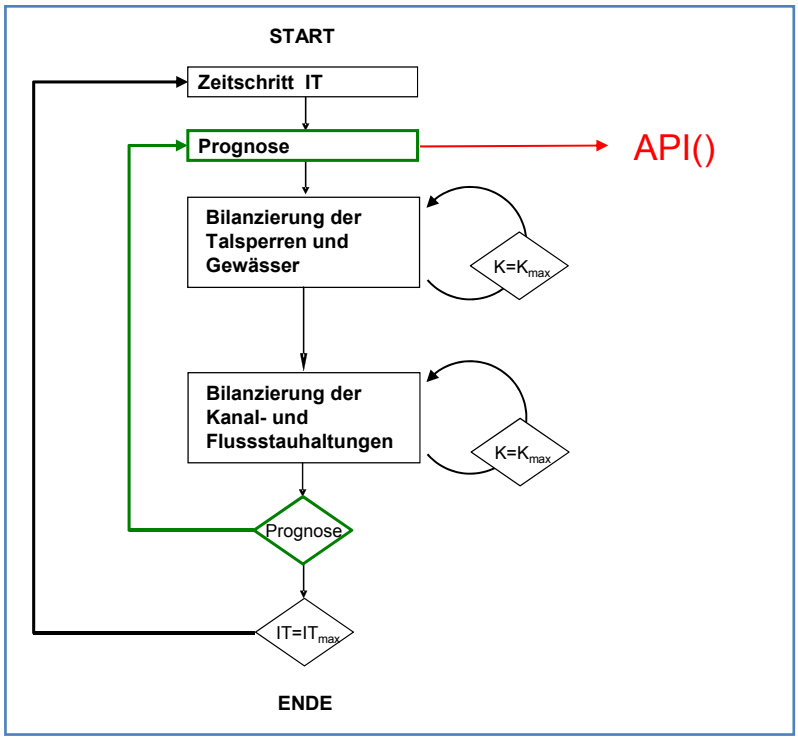


Abb. 3: Flussdiagramm des Rechenablaufs von BEWASYS mit Prognose

Um den Anwender die Steuerung zu erleichtern, werden in der API zu jedem Zeitschritt nach berechneter Prognose, zusätzlich zu dem sich einstellenden Systemzustand (Wasserstände, Abflüsse), für jede Haltung Defizit-, Reserve- oder Überschusswassermengen ermittelt; alle Größen werden in m³/s ausgewiesen und sind somit frei vom Rechenzeitschritt. Defizit bedeutet, dass sich in der Haltung ohne Maßnahmen ein Wasserstand unterhalb BW_U (unterer Betriebswasserstand) einstellen würde. Reserve bedeutet, dass der Wasserstand zwischen BW_U und BW_O liegen würde, also freies Wasser zur Bewirtschaftung bereitsteht. Überschuss heißt, dass Wasser entlastet werden muss. Der Anwender setzt dafür in der API geeignete Regeln, um die Pumpen und Entlastungen für die entsprechenden Fälle zu steuern. Dabei können Wassermengen auch über mehrere Haltungen, Gewässer weitergereicht werden. Sind die Wasserreserven im System ausreichend, die Pumpen und Entlastung genügend leistungsfähig, so stellt sich bei passender Steuerung in allen Haltungen immer der Zielwasserstand (Normalstau) ein. Können durch die gesetzten Randbedingungen (Systemparameter) unter Einbeziehung der Störgrößen (Zuflüsse, Entnahmen) die Ziele nicht erreicht werden, so werden vom Modell entsprechend Defizite oder Überschüsse ausgewiesen.

3.3 Trennung Modellkern ↔ Anwenderoberfläche

Das ursprüngliche Modell BEWASYS 2003 war in 3 Komponenten unter Fortran77 programmiert: Systemeditor, Rechenmodell und Ergebnisausgabe. Um die Weiterentwicklung sowohl zu vereinfachen als auch an die aktuellen Gegebenheiten anzupassen (Windows), wurden der Systemeditor, Datenströme (Zeitreihen Eingang und Ausgang) und die Modellsteuerung neu unter Java aufgesetzt. Das Rechenmodell selbst wurde bzgl. der Eingangsdaten eingeschränkt und vereinfacht, es werden von nun an nur noch Zeitreihen im Rechenzeitschritt (1d oder 1h) akzeptiert, es gibt nur ein Datei-Format. Datenprüfungen, Aggregierung/Disaggregierung, Formatumwandlungen, Fehlerabfragen und Meldungen sind in die übergeordnete Java-Steuerung implementiert.

Der Editor (siehe Abb. 4) wurde bei der Neugestaltung grundlegend verändert, es erfolgt nun nicht mehr eine knotenweise sondern elementweise Betrachtung. Elemente können nachträglich eingefügt, gelöscht oder neu angeordnet werden, dies war im statischen, alten Editor nicht möglich. Intern rechnet das Modell zwar weiterhin in der alten Weise, die Übergabe wickelt jedoch der neue Systemeditor im Hintergrund ab und der Anwender braucht sich nicht mehr darum zu kümmern. Damit in der offenen Programmierschnittstelle (API) Knoten weiterhin (auch nach nachträglichem Einfügen/Löschen) identifiziert werden können, wurde zudem eine eindeutige ID für alle Elemente und Knoten eingeführt. Dadurch können auch Ergebnisse von veränderten Systemvarianten miteinander verglichen werden.

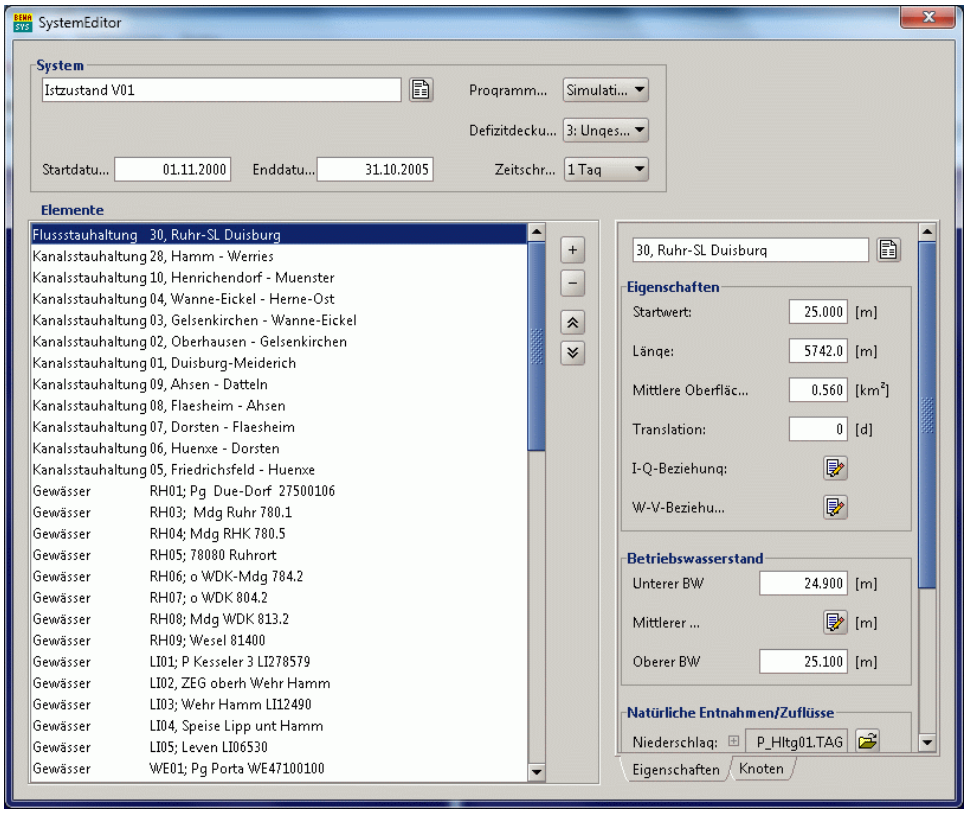


Abb. 4: Der BEWASYS Systemeditor (Beispiel Rhein-Oder)

Durch die Programmierung unter Java ergeben sich auch neue Möglichkeiten hinsichtlich der Datenströme (Dateiformate, Datenbanken, Netzwerke, Fehlerbehandlung) und der Oberfläche (vorgefertigte Bibliotheken, Diagramme).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Fortführung des Modells BEWASYS Rhein-Oder, sowie die Dokumentation der Anwendung und der Möglichkeiten der offenen Programmierschnittstelle sind aktuelle Bearbeitungspunkte im Auftrag der BfG. Die API soll ein eigenes Handbuch erhalten, so dass auch unerfahrenen Anwender den Einstieg erleichtert bekommen. Außerdem soll eine Leerfunktion für die API angeboten werden, in der bestimmte Strukturen bereits angelegt sind, um die Programmierung neuer Steuerungen zu beschleunigen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Fortführung und Verbesserung des ursprünglichen Modells große Schritte hinsichtlich vielfältiger Nutzbarkeit von BEWASYS gemacht hat. Die erfolgreiche Umsetzung des umfangreichen Modells Rhein-Oder hat gezeigt, wozu BEWASYS in der Lage ist.

Literatur

BRUDY-ZIPPELIUS, T. (2003): Wassermengenbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Ruhr: Simulation und Echtzeitbetrieb, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 42-53

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, J. IHRINGER, P. PREUß, K. RICHTER (2011): Modellierung der Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder mit dem Tageswertmodell BEWASYS. Tag der Hydrologie 2011 in Wien. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 30.11, S. 186 - 192.

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, S. KRAUSE, R. OPPERMANN, K. RICHTER, H. - J. THEIS (2011): BEWASYS Rhein-Oder. Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1730.

HOHENRAINER, J., J. CEMUS, A.-D. EBNER VON ESCHENBACH, P. PREUß, K. RICHTER (2012): BEWASYS Edertalsperre – Aufbau eines Bewirtschaftungsmodells der Edertalsperre für den operationellen Betrieb. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 61-71

PREUß, P., J. IHRINGER, W. FINKE (2007): Wasserbewirtschaftung von Bundeswasserstraßen: Modellanforderungen und Umsetzung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 20.07, Band 1, S. 157 - 168, ISBN 978-3-940173-04-1

Kontakt:
Patrick Preuß
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608 47692
Fax: +49 721 608 45651
E-Mail: preuss@kit.edu

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems

Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Maria Carambia, Jochen Hohenrainer, Enno Nilson und Katharina Richter

1 Einleitung

Die Langfristuntersuchungen zu den Auswirkungen von verschiedenen Dargebots- und Bewirtschaftungsvarianten auf das Kanalsystem von Rhein bis Oder wurden mit dem hierfür entwickelten Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder durchgeführt.

Auf die Methodik des zugrunde liegenden Modellsystems BEWASYS sowie auf die benötigten Eingangsdaten wird in diesem Beitrag nicht detailliert eingegangen, da beide Punkte in den vorangegangenen Ausführungen von PREUß & IHRINGER (2012, siehe S. 36ff.) sowie MAURER (2012, siehe S. 27ff.) vorgestellt wurden. Für darüber hinausgehende Informationen wird auf EBNER VON ESCHENBACH et al. (2011) verwiesen.

In diesem Beitrag werden das Konzept zur Durchführung der Variantenrechnungen mit dem Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder unter Berücksichtigung ausgewählter Abfluss- und Nutzungsszenarien im 21. Jahrhundert präsentiert und die Simulationsergebnisse diskutiert. Die Analysen sind eingebettet in das Ressortforschungsprogramm KLIWAS, dessen Ziele darin bestehen, die Folgen des Klimawandels für Wasserstraßen und Schifffahrt zu erforschen und entsprechende Anpassungsstrategien zu entwickeln (www.kliwas.de). Im Ergebnis des Forschungsprogramms wird entsprechend der Projektphilosophie (Multi-Modell-Ansatz) u. a. eine Vielzahl möglicher zukünftiger Entwicklungen des Wasserdargebots für die Flussgebiete (oder deren Teilbereiche) von Rhein, Elbe, Donau und Oder vorliegen. Das Wasserdargebot stellt einen Teil der Eingangsgrößen für das Bewirtschaftungsmodell dar.

Die Bandbreite möglicher zukünftiger Veränderungen des Wasserdargebots resultiert aus der Verkettung von verschiedenen globalen (GCM) und regionalen (RCM) Klimamodellen mit Wasserhaushaltsmodellen. Die resultierenden Modellketten sind beispielhaft für das Flussgebiet des Rheins in Abb. 1 aufgelistet. Die zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits bearbeiteten Elemente der Modellkette sind hellblau eingefärbt.

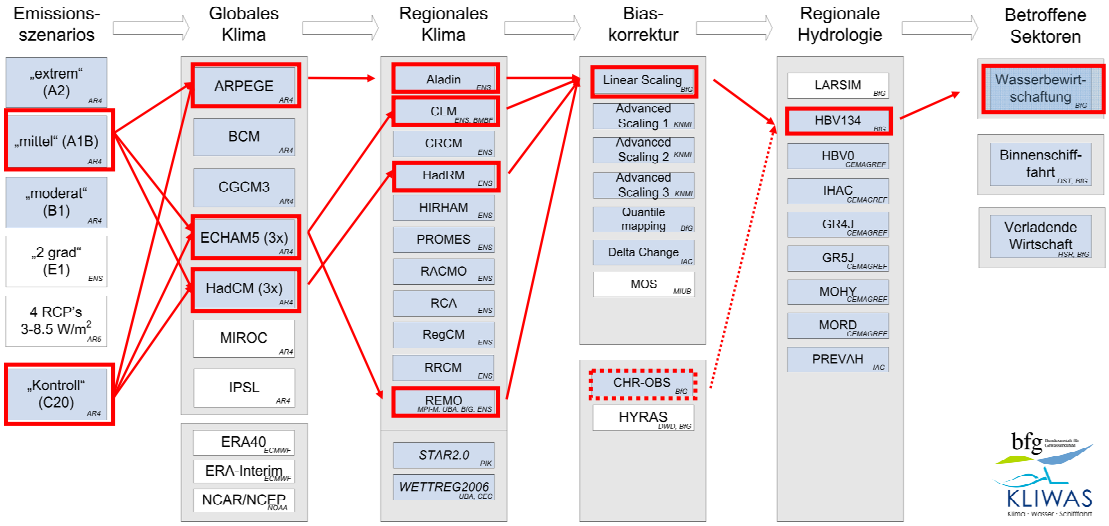


Abb. 1: KLIWAS-Modellkette für das Rheineinzugsgebiet

Aus der Vielzahl der Klimamodelle, die ein Gesamtbild der europäischen Klimafolgenforschung zeigen, werden für die hier geplanten Untersuchungen aufgrund des konzeptionellen Charakters dieses Beitrages nur die eingerahmten Modelle verwendet. Die Klimaläufe wurden jedoch so gewählt, dass eine (repräsentative) Teilbandbreite möglicher klimatischer Entwicklungen abgebildet wird. Eine Besonderheit stellt das Element CHR-OBS dar. Dieses Element entspricht dem meteorologischen Beobachtungsdatensatz, der zur Kalibrierung des Wasserhaushaltsmodells HBV verwendet wurde.

Das Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder wurde für das Untersuchungsgebiet der Bundeswasserstraßen zwischen den Flüssen Rhein und Oder aufgebaut, parametrisiert und plausibilisiert. Das Modell besteht aus einzelnen regionalbezogenen Bausteinen, die sowohl im Zusammenschluss als auch separat angewendet werden können.

Da das aus den Klimaläufen resultierende Wasserdargebot als Eingangsgröße für das Bewirtschaftungsmodell gegenwärtig nicht flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet der Kanal- und Flussstauhaltungen von Rhein bis Oder vorliegt, konnten die Analysen nur für einen Teilbereich durchgeführt werden. Als Pilotgebiet wurde der Bereich des Westdeutschen Kanalsystems gewählt. Aufgrund der regionalen Einschränkung kam der entsprechende spezifische Modellbaustein BEWASYS West (als ein Modellbaustein von BEWASYS Rhein-Oder) separat zur Anwendung.

2 Das Untersuchungsgebiet und seine Bewirtschaftung

Das System der westdeutschen Kanäle umfasst elf Stauhaltungen, die sich auf Rhein-Herne-Kanal (RHK), Wesel-Datteln-Kanal (WDK), Datteln-Hamm-Kanal (DHK) und Dortmund-Ems-Kanal (DEK) bis zur Schleuse Münster verteilen. In Abb. 2 ist das Untersuchungsgebiet schematisch mit Angabe der Schleusungsstandorte dargestellt.

Eine wichtige Funktion zur Wasserbewirtschaftung des Systems erfüllt die Lippe. Das Wasser der Lippe wird zur Speisung der Stauhaltungen verwendet, in denen das Wasserdargebot geringer als der Wasserbedarf ist. Die Einleitungsstelle befindet sich am Wehr in Hamm

(siehe auch grüner Pfeil am DHK in Abb. 2). Die Speisung erfolgt im Freigefälle. Reicht das Wasser der Lippe zur Befriedigung der Defizite nicht aus, wird durch die Pumpwerke an den Schleusungsstufen das Wasser jeweils in die obere Haltung gepumpt. Zusätzlicher Wasserbedarf wird durch Entnahmen aus der unteren Ruhr oder aus dem Rhein gedeckt. Für den Standort Münster gilt die Einschränkung, dass nur das Schleusungswasser zurückgepumpt wird, wenn der Chloridgehalt am DEK (Kilometer 109,5) höher als 250 mg/l ist. Bei geringeren Salzgehalten kann in Münster entsprechend des Bedarfes (jedoch maximal 6 m³/s) gepumpt werden.

Für den Fall, dass die Abflüsse in der Lippe am Wehr in Hamm unterhalb des geforderten Mindestdurchflusses von 10 m³/s liegen, wird Wasser aus der Scheitelhaltung in die Lippe geleitet. Sinnbildlich dargestellt ist die Niedrigwasseraufhöhung der Lippe durch den hellblauen Pfeil in Abb. 2. Zusätzlich sind die Pumpwerke mit einem gekrümmten Pfeil abgebildet, der gleichzeitig auch die Pumprichtung symbolisiert. Die eingekreisten Zahlen 1 bis 4 entsprechen der Priorität der Haltungen. Je niedriger die Zahl, desto höher ist die Priorität. Die Buchstaben von a bis d stellen die Reihenfolge der Speisungen dar. Im Fall eines Defizits für die Scheitelhaltung bedeutet das beispielhaft, dass diese zuerst mit Wasser aus der Lippe (Buchstabe a) gespeist wird, danach über das Pumpwerk Münster (Buchstabe b) und über die Pumpwerksketten am RHK (mit Entnahme aus Rhein und Ruhr) (Buchstabe c) und abschließend über die Pumpwerkskette am WDK (mit Entnahme aus Rhein) (Buchstabe d).

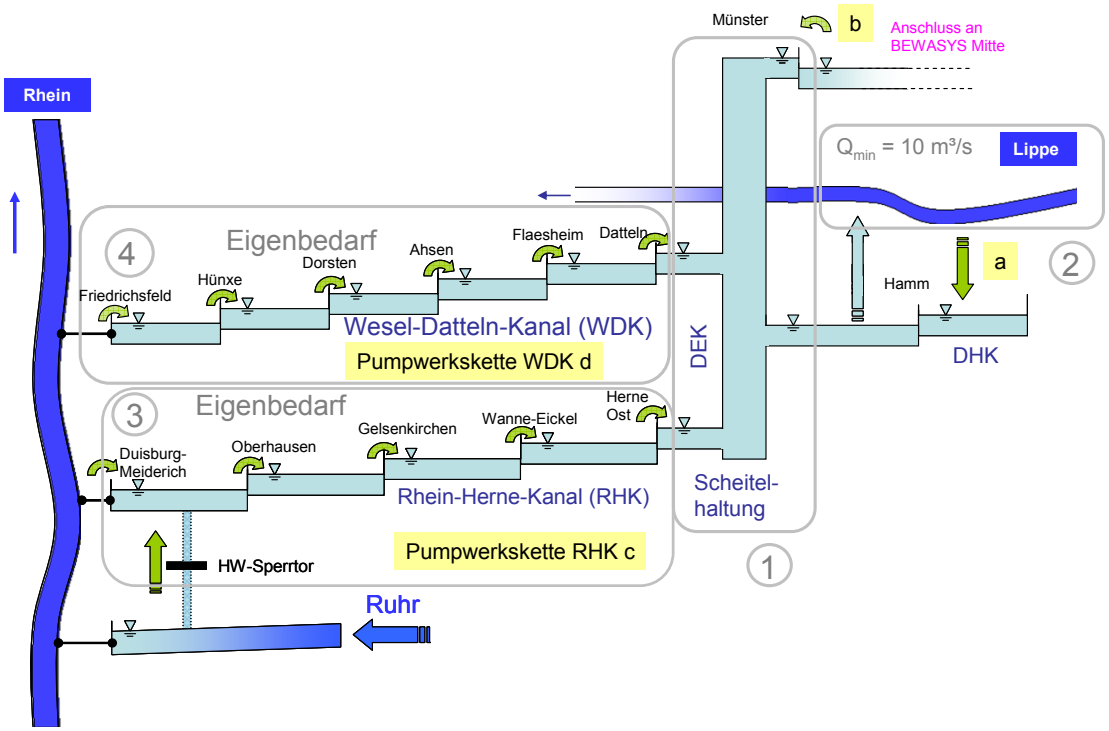


Abb. 2: Systemskizze vom Westdeutschen Kanalsystem und dessen Wasserbewirtschaftung

Die festgelegten Prioritäten (1 bis 4) sowie die Reihenfolge der Speisung durch Pumpwerke (a bis d) oder Freigefälleleitungen bei auftretenden Defiziten wurden in einem iterativen zeitintensiven Verfahren festgelegt. Nähere Informationen hierzu sind bei EBNER VON ESCHENBACH et al. (2011) zu finden.

3 Konzept zur Durchführung von Szenarienrechnungen

Die Szenarienrechnungen mit dem Bewirtschaftungsmodell BEWASYS West als Teilbaustein von BEWASYS Rhein-Oder im Rahmen der Klimafolgenforschung erfolgten entsprechend der nachfolgend dargestellten Vorgehensweise:

1.) Plausibilisierung des Bewirtschaftungsmodells BEWASYS West anhand von Beobachtungsdaten

a) Plausibilisierung des Modells im Zeitraum von 1996 bis 2005 und Festlegung einer Basisbewirtschaftungsvariante zur Steuerung von Pump- und Entlastungsanlagen. Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes werden hier nicht vorgestellt, da auf die Literatur verwiesen werden kann (siehe u. a. in EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011).

b) Anpassung der Eingangsdaten des Bewirtschaftungsmodells für die Validierung der Klima-Kontrollläufe C20 (d. h. Erweiterung des Untersuchungszeitraumes auf die Jahre von 1963 bis 2005, Ermittlung des Wasserdargebots in täglicher Auflösung, Aggregierung des Wasserbedarfs zu Monatswerten)

c) Durchführung von Simulationen mit angepassten Eingangsdaten (1b) und Vergleich der Ergebnisse mit den Resultaten von Punkt 1a). Dadurch sind Aussagen zur Sensitivität des Bewirtschaftungsmodells möglich (wird nicht vorgestellt.)

2.) Validierung der Abflusssimulationen aus der Modellkette CHR-OBS - HBV - BEWASYS (siehe Abb. 1)

a) Aufbereitung des mit dem Wasserhaushaltsmodell HBV auf der Basis von meteorologischen Beobachtungsdaten simulierten Wasserdargebots als Randbedingung für das Bewirtschaftungsmodell; Vergleich des simulierten Wasserdargebots mit Beobachtungsdaten (siehe Abb. 4 (links) am Beispiel des Pegels Lippstadt über den Zeitraum 1975 bis 1989). Die Einschränkung der zeitlichen Auswertung liegt in der Verfügbarkeit der Beobachtungsdaten begründet.

b) Durchführung von Simulationsrechnungen für den Zeitraum von 1963 bis 1995 und Vergleich dieser Ergebnisse mit den Resultaten der unter Punkt 1c) durchgeführten Rechnungen. Der Vergleich ist in Abb. 4 (rechts) in Anlehnung an die Auswertung 2a) für den gleichen Zeitraum dargestellt und wird in Abschnitt 5.1 diskutiert.

3.) Validierung der Kontrollläufe der Abflussszenarien aus der Modellkette C20 - GCM - RCM - Biaskorrektur - HBV - BEWASYS (siehe Abb. 1)

a) Aufbereitung der meteorologischen und hydrologischen Daten aus den ausgewählten Klimakontrollläufen als Eingangsgrößen für das Bewirtschaftungsmodell für den Kontrollzeitraum von 1963 bis 2000

b) Durchführung von Simulationsläufen und Auswertung der Ergebnisse. Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse werden diese hier nicht dargestellt.

4.) Durchführung von Variantenrechnungen zu Klima- und Nutzungsszenarien

a) Aufbereitung der meteorologischen und hydrologischen Daten aus den ausgewählten Klimaläufen als Eingangsgrößen für das Bewirtschaftungsmodell für den Zeitraum 2001 bis 2100. Die Aufbereitung der Daten ist in Abschnitt 4.1 beschrieben.

b) Aufbereitung der Daten für einen veränderten Wasserbedarf (siehe Abschnitt 4.2)

c) Durchführung von Simulationsläufen und Auswertung der Ergebnisse mit Bezug auf die Resultate von Punkt 3.

- Änderung des Wasserdargebots im 21. Jahrhundert: Simulationen mit dem Bewirtschaftungsmodell unter Verwendung der Abflussszenarien aus der Modellkette A1B - GCM - RCM - Biaskorrektur - HBV - BEWASYS. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 5.1 dargestellt.
- Änderung des Dargebots und des Bedarfs im 21. Jahrhundert: Simulationen mit dem Bewirtschaftungsmodell unter Verwendung der Abflussszenarien aus der Modellkette A1B - GCM - RCM - Biaskorrektur - HBV - BEWASYS. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 5.2 dargestellt.

4 Eingangsdaten für das Bewirtschaftungsmodell

4.1 Wasserdargebot aus den Klimaläufen

Das verfügbare oberirdische Wasserdargebot wird über meteorologische und hydrologische Tageswertreihen beschrieben.

Aus der Modellkette Kontrollzeitraum/Emissionsszenario - GCM - RCM - Biaskorrektur stehen für jeden Klimalauf meteorologische Tageswertreihen für den Zeitraum von 1951/60 bis 2099/2100 als Eingangsgrößen für das Bewirtschaftungsmodell zur Verfügung (entsprechend der Arbeitsschritte 3 und 4). Es handelt sich hierbei um biaskorrigierte Gebietsniederschläge bzw. potenzielle Verdunstungshöhen von vier meteorologischen Teilgebieten des Wasserhaushaltsmodells HBV, die auf die einzelnen Kanalhaltungen entsprechend Abb. 4 bezogen wurden. Für detaillierte Informationen zur Ermittlung der meteorologischen Zeitreihen (zum Beispiel zum Verfahren der Biaskorrektur, zur Ermittlung der potenziellen Verdunstung) wird auf NILSON et al. (2010) verwiesen.

Eine weitere räumliche Unterteilung der meteorologischen Teilgebiete für das Kanalsystem ist nicht notwendig, da aufgrund der geringen Oberflächen der Haltungen beide Größen (Niederschlag und Verdunstung) mengenmäßig (langjähriger täglicher Mittelwert für jede Haltung ist geringer als 0,05 m^3/s) nur einen sehr kleinen Teil der Wasserbilanz ausmachen, sich im Jahresmittel nur geringfügig voneinander unterscheiden und sich damit in der Bilanz gegenseitig fast aufheben.

Die klimaprojektionsspezifischen meteorologischen Zeitreihen stellen in KLIWAS die Eingangsgrößen für die hydrologische Modellierung mit dem Wasserhaushaltsmodell HBV (Modellkette Kontrollzeitraum/Emissionsszenario - GCM - RCM - Biaskorrektur - HBV, entsprechend Arbeitsschritte 3 und 4) dar. Dieses Dargebot bildet die Eingangsgröße für das Bewirtschaftungsmodell. In Abb. 3 ist zu erkennen, dass als Randzuflüsse (blauer Pfeil) für das Bewirtschaftungsmodell die Tageswertreihen der Pegel Düsseldorf/Rhein, Hattingen/Ruhr, Lippstadt/Lippe und zusätzlich die Reihen der Ruhrort/Rhein, Pegel Rees/Rhein und Haltern/Lippe zur Ermittlung der Zwischengebietszuflüsse (grüner Pfeil) im Zeitraum von 1963 bis 2100 benötigt werden.

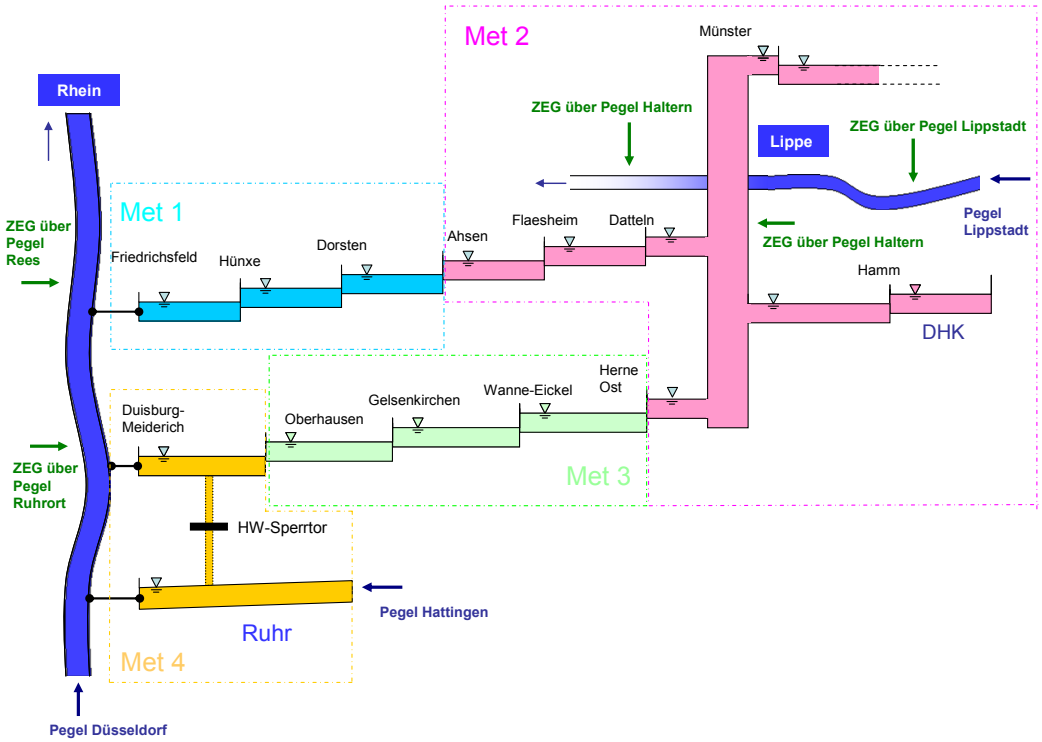


Abb. 3: Hydrologische Zeitreihen und Aufteilung der meteorologischen Teilgebiete des Wasserhaushaltsmodells HBV auf die Haltungen des Kanalsystems

4.2 Annahmen zur Veränderung des Wasserbedarfs

Für Untersuchungen zukünftiger Zustände mit einem Bewirtschaftungsmodell ist es neben der Beschreibung der Entwicklung des Dargebots notwendig, Annahmen zur Veränderung des Wasserbedarfs zu postulieren.

Der Hauptnutzer der Kanäle ist die Binnenschifffahrt, deren Wasserbedarf in täglichen Schleusungszahlen ausgedrückt werden kann. Zwei mögliche Veränderungen im mengenmäßigen Gütertransport auf den Kanälen wurden für diese Variantenrechnungen angenommen:

1.) In einer ersten Variante wird die Beibehaltung des Status Quo postuliert. Das bedeutet, dass das mittlere Verkehrsaufkommen von 1991 bis 2010 unverändert auf den Zeitraum bis 2100 übertragen wird (Entwicklung +/- Null). Hierfür wurden in einem ersten Schritt die vorliegenden täglichen Schleusungszahlen von 1991 bis 2010 zu monatlichen Mittelwerten aggregiert, was zur Folge hat, dass sich die für die Tageswerte charakteristische Variabilität verringert. Die Schleusungswassermengen, die sich aus den täglichen Schleusungszahlen und der zu überwindenden Hubhöhe ermitteln lassen, haben mengenmäßig den größten Anteil an der Wasserbilanz einer Haltung und bestimmen daher in defizitären Haltungen den Bedarf an Speisungs- (resp. Pump-)wasser. Es zeigte sich, dass bereits die Aggregierung der täglichen Schleusungszahlen zu Monatswerten zu einer starken Mittelung bei den Pumpwassermengen führte. Für weitergehende Betrachtungen sind für die Schleusungszahlen höhere zeitliche Auflösungen zu wählen.

2.) In einer zweiten Variante wurde die verkehrliche Entwicklung erhöht. Grundannahme war, dass sich aufgrund des Baus von Heizkraftwerken am DHK der Bedarf an (regional nicht verfügbarer) Kohle und somit die Anzahl der Schiffstransporte erhöht. Es wurde von einer Erhöhung der täglichen Schiffstransporte von derzeit durchschnittlichen 6 auf 12, 18 bzw. 24 am Standort Hamm (DHK) ausgegangen. Da die Route der zusätzlich notwendigen Schiffstransporte nicht bekannt ist, wurde zusätzlich angenommen, dass sich der Verkehr auf RHK und WDK gleichmäßig verteilt.

Ein Grundproblem beinhaltet die Annahme zu verkehrlichen Veränderungen im mengenmäßigen Gütertransport. Die Anzahl der täglichen Schiffstransporte hängt direkt von dem zur Verfügung stehenden Wasser (ausgedrückt als Wasserstand) in der Kanal- bzw. Flussstauhaltung ab. Der Wasserstand ist jedoch als Steuergröße im Modell verankert. In der Praxis reduziert sich die Anzahl der Schiffstransporte (und somit die Anzahl der Schleusungen), wenn der Wasserstand einer Haltung eine kritische niedrige Höhe erreicht. Diese Abhängigkeit muss bei der Simulation berücksichtigt werden. Ein pragmatischer Ansatz ist die zweimalige Durchführung der Simulation. In dem Fall, dass die Ergebnisse des ersten Simulationslaufes zeigen, dass die simulierten Wasserstände geringer als die unteren Betriebswasserstände sind, muss die Anzahl der Schleusungen in einem zweiten Simulationslauf entsprechend reduziert werden.

Weiterhin war es notwendig, die Veränderungen des Wasserbedarfs von zum Beispiel Industrie, Landwirtschaft und Wasserversorgung anzunehmen. Postuliert wurden für beide Varianten die Beibehaltung des Status Quo. Das bedeutet, dass die tatsächlichen Entnahme- und Rückleitungsmengen, die für den Zeitraum 1991 bis 2005 bekannt sind, sich bis 2100 nicht verändern (Entwicklung +/- Null).

Die geringe Interaktion des Westdeutschen Kanalsystems mit dem Grundwasser wird ebenso als stationär angesehen.

Für die monetäre Bewertung beider Variantenrechnungen wurde ebenso von der Beibehaltung des Status Quo ausgegangen. Das bedeutet, dass sich die heutigen Preise für die Bereitstellung der Energie für die zu verrichtende elektrische Arbeit der Pumpwerke über den gesamten Zeitraum nicht verändern.

5 Ergebnisse der Szenarienrechnungen

5.1 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbewirtschaftung

Die Lippe dient zur Speisung des Westdeutschen Kanalsystems und hat daher eine tragende Rolle in der Wasserbewirtschaftung. Aufgrund ihrer hohen Bedeutung wurden entsprechend des Schrittes 2 des konzeptionellen Vorgehens die beobachteten täglichen Abflüsse am Pegel Lippstadt/Lippe mit denen verglichen, die auf der Basis beobachteter meteorologischer Daten mit dem Wasserhaushaltsmodell HBV im Zeitraum 1963 bis 1995 simuliert wurden. Dieser Vergleich ist in Abb. 4 (links) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die beobachteten Abflüsse (BEO) in den Monaten von Februar bis Mai durch das Modell (SIM Lippstadt ohne Korrektur) leicht unterschätzt und in den übrigen Monaten Juni bis Januar stark überschätzt (35 % im September) werden. Das kann u. a. damit begründet werden, dass bei der Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells HBV die Pegel der Nebenflüsse mit Einzugsgebieten ab ca. 5000 km² und die Rheinpegel im Fokus standen. Das Einzugsgebiet des Pegels Lippstadt umfasst hingegen lediglich etwa 1400 km².

Das Bewirtschaftungsmodell BEWASYS reagiert sehr sensitiv auf die Niedrigwasserabflüsse in der Lippe. Das führt dazu, dass die Simulation der Wasserbewirtschaftung auf der Basis der mit dem Wasserhaushaltsmodell simulierten Abflüsse zu Unterschieden im Vergleich zum Istzustand (1996 - 2005) führt. Zur Verminderung dieser Unterschiede wurden die simulierten Abflüsse am Pegel Lippstadt mit einem konstanten Faktor korrigiert, der sich aus dem Quotienten von Beobachtung und Simulation ergibt. Der Verlauf der korrigierten simulierten Ganglinie und die entsprechende bessere mittlere Anpassung an die Beobachtungen ist in Abb. 4 (links, SIM mit Korrektur) zu sehen. Diese Korrektur führt zu einer Verminderung der Überschätzung (im September um ca. 10 auf 25 %) der Beobachtungen in der sommerlichen Niedrigwasserperiode von Juni bis Oktober.

In Abb. 4 (rechts) ist der Vergleich der simulierten Entnahmemengen, die zum einen auf der Grundlage von beobachteten Abflüssen (SIM1) und zum anderen auf der Basis von mit dem HBV generierten und korrigierten Abflussreihen (SIM2) erzeugt wurden, dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die geringfügige bis leichte Unterschätzung der Beobachtungen in den Monaten November (11) bis Mai (05) zu einem leichten Rückgang und die Überschätzung in den Monaten Juni (06) bis Oktober (10) zu einem Anstieg der simulierten Entnahmenmengen führt. Das bedeutet, dass die in den Monaten Juni bis Oktober simulierten Entnahmen aus der Lippe (SIM2) zwangsläufig zu einer Verringerung der Energiekosten (im Vergleich zu SIM1) bei Betrachtung des Gesamtsystems führen. Somit entstehen bereits hier Unterschiede in den Energiekosten zwischen Beobachtungen und Simulationen.

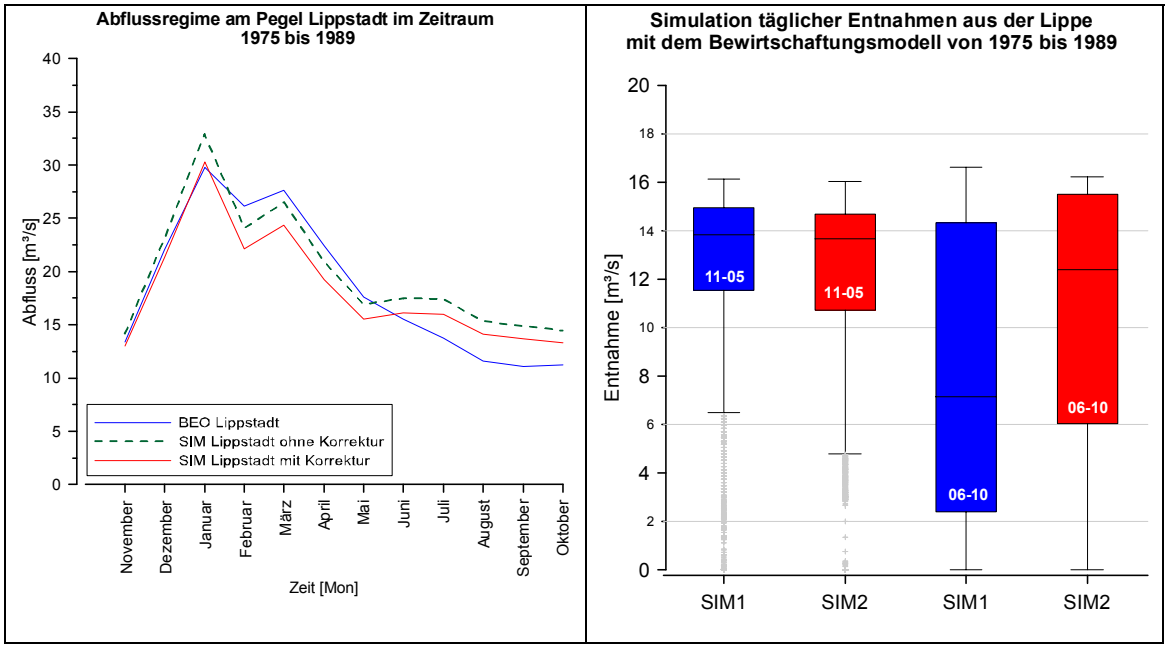


Abb. 4: Vergleich der beobachteten (BEO) und mit dem Modell HBV simulierten Abflüsse (SIM) am Pegel Lippstadt/Lippe (links); Vergleich der simulierten täglichen Entnahmemengen aus der Lippe in den Monaten 11 bis 05 und 06 bis 10 (SIM1 = Simulation auf der Basis von beobachten Abflüssen und beobachteter Meteorologie, SIM 2 = Simulation auf der Basis von mit dem HBV generierten und korrigierten Abflüssen und beobachteter Meteorologie)

Im Ergebnis dieser Auswertung werden zwei Dinge deutlich: (1) Es empfehlen sich innerjährliche Betrachtungen von Abflüssen und Entnahmemengen zur Identifizierung von Unterschieden und für eine bessere Interpretation der Ergebnisse. (2) Der Referenzzustand, der den Bezug für die Bewertung der Auswirkungen von möglichen zukünftigen Entwicklungen darstellt, sollte nicht auf der Basis von Beobachtungen, sondern auf der Grundlage von Simulationen ermittelt werden. Idealerweise sollten Beobachtungen und Simulationen jedoch möglichst gut übereinstimmen.

Der Punkt (2) wurde in der weiteren Ergebnisdarstellung berücksichtigt. Für unterschiedliche Dargebotsvarianten, die durch die gewählten Klimaprojektionen abgebildet werden, wurden mögliche Entwicklungen der Gesamtenergiekosten für die zu verrichtende elektrische Arbeit für den Zeitraum von 1963 bis 2100 unter Beibehaltung des Status Quo für Wasserbedarf und Energiepreise ermittelt.

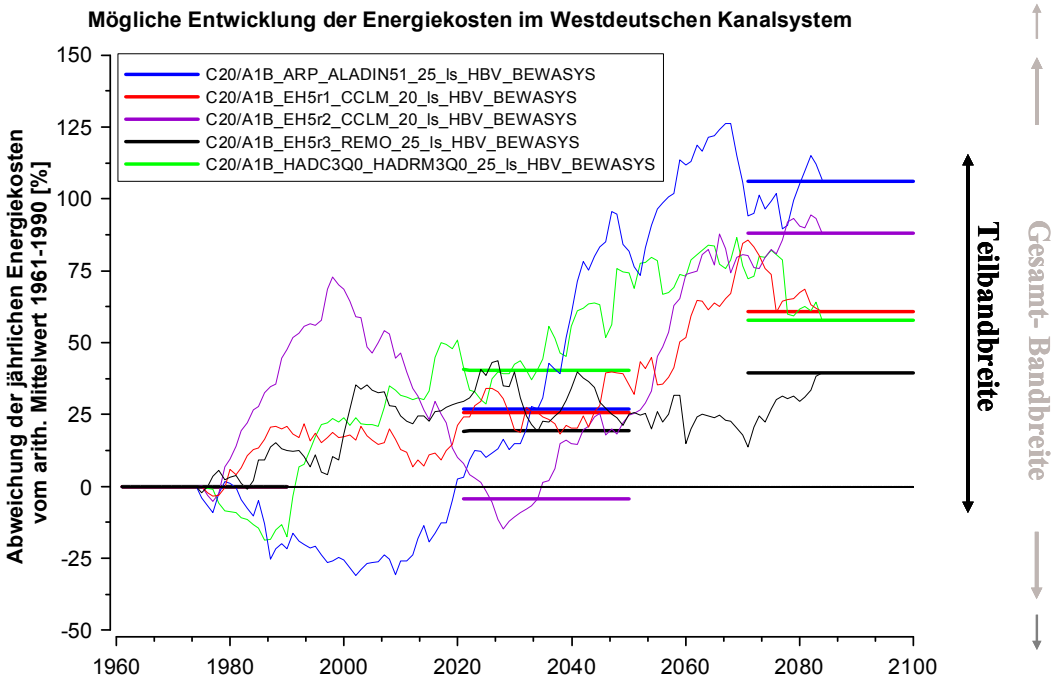


Abb. 5: Entwicklung der normierten Energiekosten (Referenzzeitraum 1963 - 1992) bei zeitlicher Veränderung des Dargebots und Beibehaltung des Status Quo beim Bedarf

In Abb. 5 sind die Änderungen der jährlichen Energiekosten (a) als Ganglinien der gleitenden dreißigjährigen Mittelwerte und (b) als arithmetische Mittelwerte der jährlich normierten Energiekosten für drei verschiedene Zeiträume (Referenz 1963 - 1992, nahe Zukunft 2021 - 2050, ferne Zukunft 2071 - 2100) dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die ausgewählten möglichen Entwicklungen des Wasserdargebots zu einem Anstieg der Energiekosten in der nahen Zukunft um 20 bis 40 % (mit Ausnahme der Projektion C20/A1B-EH5r2-CCLM-20-ls-HBV-BEWASYS) und in der fernen Zukunft um 40 bis 100 % führen können.

Weitere (hier jedoch nicht dargestellte) Ergebnisse der Simulationsrechnungen zeigen, dass die Zielwasserstände in den Haltungen (Normalstau) zu jedem Zeitpunkt erreicht werden können. Das bedeutet, dass zum einen genügend Wasser zur Versorgung der Stauhaltungen, in denen das Wasserdargebot geringer als der Wasserbedarf ist, zur Verfügung steht und zum anderen, dass die maximale Kapazität der Pumpen nicht erreicht wird.

Die Ergebnisse der Veränderungen in den Energiekosten repräsentieren eine Teilbandbreite möglicher Entwicklungen des Wasserdargebots.

5.2 Mögliche Auswirkungen veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Wasserbewirtschaftung

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den möglichen Auswirkungen veränderter Ansprüche der Nutzer sind in Abb. 6 dargestellt. Die Art der Darstellung orientiert sich an Abb. 5. Die Annahme zur Erhöhung des mengenmäßigen Schiffsverkehrs ist in Abschnitt 4.2 erläutert.

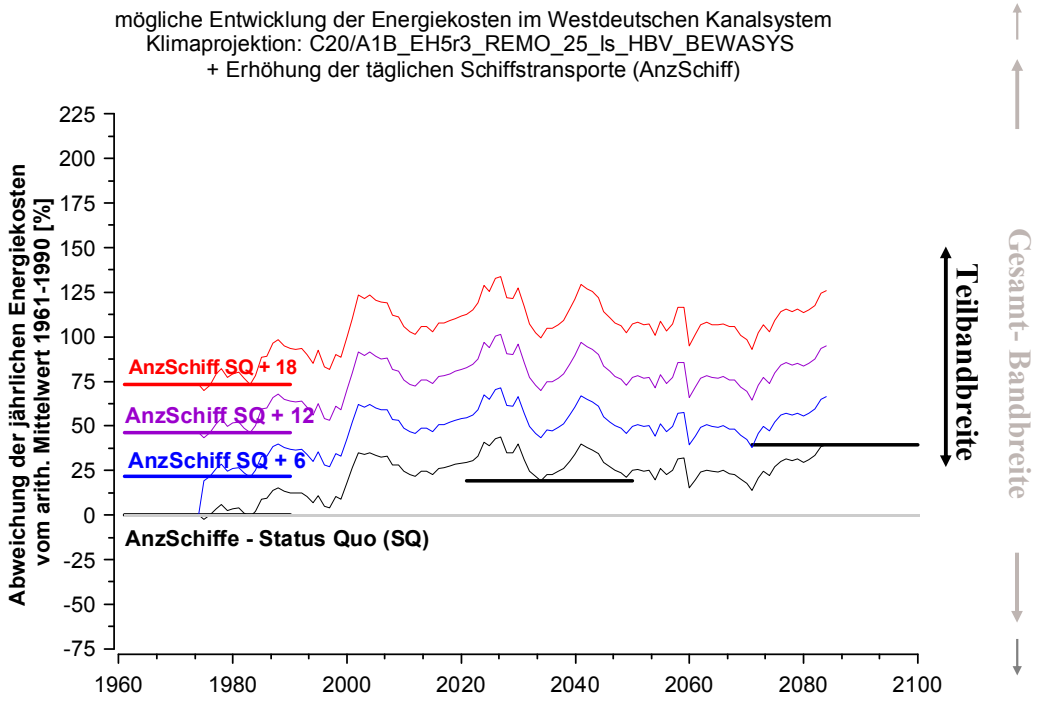


Abb. 6: Entwicklung der normierten Energiekosten (Bezug: Status Quo im Referenzzeitraum 1963 - 1992) bei zeitlicher Veränderung von Dargebot und Bedarf

In Abb. 6 ist zu erkennen, dass der Anstieg der Anzahl der Schiffstransporte im Referenzzeitraum zu einer Erhöhung der Energiekosten um bis zu 75 % führen kann. Zur Einordnung der Größenverhältnisse der Energiekosten sind in dieser Abbildung zusätzlich die Mittelwerte der Änderung der normierten Jahreskosten für die nahe und ferne Zukunft aus der Modellkette C20/A1B-EH5r3-REMO-25-ls-HBV-BEWASYS unter Beibehaltung des Status Quo bei der Veränderung des Wasserbedarfs dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei einem Anstieg der Schiffstransporte um 12 pro Tag bereits für den Kontrollzeitraum höhere Energiekosten auftreten als für die ferne Zukunft unter der Annahme einer moderaten Veränderung der Abflussverhältnisse für den Status Quo simuliert wurden.

Vergleicht man die Ergebnisse (Abb. 6) mit den simulierten Energiekosten für drei ausgewählte Klimaläufe (ohne C20/A1B-ARPEGE-ALADIN51-25-ls-HBV-BEWASYS), die in Abb. 5 dargestellt sind, so ist zu erkennen, dass der Kosteneffekt einer Schiffszahlerhöhung von 6 bzw. 18 Transporten pro Tag im Referenzzeitraum in etwa dem Kosteneffekt der Klimafolgen in der fernen Zukunft entspricht.

Die Auswertung weiterer (hier nicht dargestellter) Simulationsergebnisse zeigt, dass auch in diesen Variantenrechnungen die Zielwasserstände in den Haltungen über den gesamten Zeitraum gehalten werden können.

6 Zusammenfassung

Das Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder ist ein wertvolles Instrument zur Simulation der Wasserbewirtschaftung von Kanal- und Flussstauhaltungen und gegenwärtig in seinem räumlichen Umfang und seiner zeitlichen Diskretisierung einmalig in Deutschland.

Es wurde gezeigt, dass dieses Modell geeignet ist für die Durchführung von Szenarienrechnungen für komplexe wasserwirtschaftlichen Fragestellungen, die das Kanalsystem betreffen. Die Szenarienrechnungen mit BEWASYS wurden unter Berücksichtigung des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer durchgeführt. Die Vorgehensweise bei der Durchführung dieser Rechnungen wurde detailliert vorgestellt.

Auch wenn die Untersuchungen aufgrund der vorliegenden Randbedingungen nur anhand des Westdeutschen Kanalsystems vorgestellt wurden, ist eine Übertragbarkeit des Vorgehens auf das gesamte Gebiet der Kanal- und Flussstauhaltungen zwischen Rhein und Oder möglich.

Das Bewirtschaftungsmodell ist ein Baustein zur Entscheidungsunterstützung, um mögliche zukünftige Nutzungskonflikte bei Berücksichtigung des Klimawandels aufzeigen und ggf. lösen zu können.

Literatur

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, S. KRAUSE, R. OPPERMANN, K. RICHTER, H. - J. THEIS (2011): BEWASYS Rhein-Oder. Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1730.

MAURER, T., A.-D. EBNER VON ESCHENBACH (2012): Interaktion des Kanalsystems mit der Umwelt – Modellierung des Wasserhaushalts als Randbedingung für ein Bewirtschaftungsmodell. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 27-35

NILSON, E., J. BEERSMA, C. PERRIN, M. CARAMBIA, P. KRAHE, O. DE KEIZER, K. GÖRGEN (2010): Overview of available data and processing procedures. In: Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perron, C. & D. Volken (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 19-50. Download: http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf (letzter Zugriff: 24.01.2012).

PREUß, P., J. IHRINGER (2012): BEWASYS – Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Kanal- und Flussstauhaltungen. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 36-41

Kontakt:
Dr. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5187
Fax: 0261/ 1306 5280
E-Mail: EbnerVonEschenbach@bafg.de

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Veranstaltungen
2/2012

Von einfachen wasserwirtschaftlichen Summenbilanzen zu detaillierten Instrumentarien der Wasserbewirtschaftung für komplexe wasserwirtschaftliche Systeme

Uwe Grünewald

1 Einleitung

Wasserwirtschaftliche Bilanzen basieren – wie Bilanzen allgemein – auf der Gegenüberstellung von mindestens zwei Größen. Ein einfacher Fall einer solchen wäre demnach die Gegenüberstellung von bisher bestehenden Nutzungen an einem bestimmten Fließgewässerquerschnitt zum dort vorhandenen Wasserdargebot. Auf dieser Grundlage ließe sich z. B. einfach feststellen, ob eine darüber hinausgehende weitere Nutzung möglich ist oder nicht. Je intensiver die Wassernutzungen in einer Region sind, desto detaillierter müssen die wasserwirtschaftlichen Bilanzbetrachtungen durchgeführt werden. Die anzuwendende *Bilanzmethode* richtet sich vor allem nach der Aufgabenstellung und dem Vorhandensein der erforderlichen Daten. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über gebräuchliche Bilanzmethoden, die damit verknüpften Bilanzarten sowie die Anforderungen an die Datenbasis und an den Bearbeitungsaufwand. Grundsätzlich sollten die Bilanzen für Flusseinzugsgebiete erstellt werden. Die Bilanzpunkte werden unter den Gesichtspunkten der Gegenüberstellung von Wasserbedarf und Wasserdargebot, eventuell auch Wasserverlusten, an bestimmten Bilanz- oder Nutzungsprofilen fixiert.

Tabelle 1
Übersicht über gebräuchliche Wassermengenbilanzmethoden (verändert nach BOTH et al. 1982)

Bilanzmethode	**Übersichtsbilanzen**		**Zeitreihenbilanzen**		**detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzen**
Bilanzart	Summen-Bilanzen	Längsschnitt-Bilanzen	Summen-Bilanzen	Längsschnitt-Bilanzen	Längsschnitt-Bilanzen
Anwendungsgebiete bzw. Aufgabenstellungen	Planübersichten Wasserwirtschaftliche Rahmenpläne	Wasserwirtschaftliche Genehmigungsverfahren	Bewirtschaftungspläne		Verbundbewirtschaftung Bewirtschaftungspläne für „Problemeinzugsgebiete“
Dargebot (bereinigtes)	ausgewählte Werte meist Durchflussmittelwerte von kritischen Monaten mit bestimmter Unterschreitungswahrscheinlichkeit		Beobachtungsreihen der Durchflüsse größer 20 Jahre auf Monatswertbasis		stochastisch simulierte lange Zeitreihen des Durchflusses auf Monatswertbasis
Eingangsdaten	wenig detailliert	lagerichtig für Teileinzugsgebiete	wenig detailliert	lagerichtig für Flussabschnitte	lagerichtig und nutzungsbezogen für Bilanzprofile im Einzugsgebiet
Planungs- bzw. Bilanzhorizont	beliebig bevorzugt in groben Zeitrastern		beliebig		beliebig z. B. in Fünfjahresperioden
Bearbeitungszeit/ -aufwand	laufend	kurzfristig	mittelfristig		mittelfristig bis längerfristig

2 Summenbilanz

Der einfachste Typ der wasserwirtschaftlichen Bilanz ist die *Summenbilanz*, welche das natürliche Wasserdargebot mit der Summe der Verluste und Abflüsse an einem Bilanzprofil, z. B. an der Mündung von zwei Flüssen, vergleicht.

Für ein Einzugsgebiet kann die Berechnung des Abflusses an einem Bilanzprofil wie folgt formuliert werden:

+ natürliches Wasserdargebot (Abfluss R von der Fläche A)	($m^3/\Delta t$)
- Summe der Nutzungsverluste (Entnahme Q_A minus Rückleitung Q_R)	($m^3/\Delta t$)
= Bilanzabfluss, Q_B	**($m^3/\Delta t$)**

Die Differenz zwischen Wasserentnahmen und Wasserrückleitungen ist gleich dem Wasserverlust, d. h. dem Wasserverbrauch.

Differenziert in Entnahme- und Rückleitungsmengen sowie in die Summen von Überleitungen und Speichereinflüssen erweitert sich das Rechenschema folgendermaßen:

+ natürliches Wasserdargebot (Abfluss R von der Fläche A)	($m^3/\Delta t$)
- Summe der Wasserentnahme, Q_A	($m^3/\Delta t$)
+ Summe der Rückleitung, Q_R	($m^3/\Delta t$)
± Summe Speichereinfluss, Q_S	($m^3/\Delta t$)
± Wassertransfer, Q_T (Ableitungen, Zuleitungen)	($m^3/\Delta t$)
= Bilanzabfluss, Q_B	($m^3/\Delta t$)
- (ökologisch) erforderlicher Mindestabfluss	($m^3/\Delta t$)
= noch verfügbares Wasserdargebot	**($m^3/\Delta t$)**

Wasserdefizite, Überschüsse und Verteilungsmöglichkeiten können auf der Grundlage dieser Summengleichung analysiert werden. Wird dem Bilanzabfluss Q_B der (ökologisch) erforderliche Mindestabfluss gegenübergestellt, lässt sich das noch verfügbare Wasserdargebot (bei positiver Beziehung) oder erforderliche Stützungs- oder Umverteilungsmaßnahmen, wie Wassertransfer oder Speichermanagement (für negative Beziehungen) ermitteln.

Aufgestellt werden Summenbilanzen für größere Flusseinzugsgebiete. Die Bilanzprofile orientieren sich an wassermengenwirtschaftlich kritischen Bilanzprofilen oder beziehen sich nur auf Mündungsprofile von Teil- und Nebenflussgebieten. Den (um Nutzungseinflüsse bereinigten) natürlichen Dargebotswerten in Form von Monatsmittelwerten besonders kritischer Monate (z. B. des „Trockenmonats“ August) mit z. B. 10 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit werden die summarischen Nutzungsverluste als Differenz „Wasserentnahmen minus Rückleitungen“ gegenübergestellt.

3 Längsschnittbilanzen

Längsschnittbilanzen unterscheiden sich von den Summenbilanzen vor allem dadurch, dass die wasserwirtschaftliche Situation des betrachteten Wasserlaufes von Bilanzprofil zu Bilanzprofil lagegerecht dargestellt wird (Abb. 1). Längsschnittbilanzen beschreiben die Nutzung der regionalen Wasserressourcen zwischen den verschiedenen Bilanzprofilen (z. B. I, II in Abb. 1). Das Rechenschema entspricht in seiner Grundform dem der Summenbilanz. Jedoch müssen, in Abhängigkeit von der Anzahl der Bilanzprofile entlang des Hauptwasserlaufes und der Nebenflüsse, die einzelnen Bilanzierungsschritte entsprechend oft wiederholt werden. Zusätzlich sind die sich ergebenden Bilanzabflüsse von Bilanzprofilen im Oberlauf oder von Nebenflüssen zu berücksichtigen (BOTH et al. 1982):

+	natürliches Wasserdargebot zwischen den Bilanzprofilen I und II, reduziert um das natürliche Wasserdargebot der Einzugsgebiete der Nebenflüsse (Abfluss R von der Fläche ($A-A_U-A_T$)	($m^3/\Delta t$)
±	Bilanzabfluss des Oberlaufprofils II, $Q_{IN,U}$	($m^3/\Delta t$)

Als zusätzliche Bilanzelemente sind aber die Bilanzsalden der jeweils oberhalb gelegenen Profile bzw. die Bilanzsalden gesondert bilanzierter Nebenwasserläufe zu berücksichtigen. Nach BOTH et al. (1982) ergibt sich im einfachsten Fall folgendes Rechenschema:

natürliches Dargebot des Bilanzgebietes	+	Mio. m^3/Monat
Bilanzsaldo des oberhalb liegenden Profils	±	Mio. m^3/Monat
Bilanzsaldo der gesondert bilanzierten Nebenwasserläufe mit Einmündung in das Bilanzgebiet	±	Mio. m^3/Monat
Summe Ableitungen	–	Mio. m^3/Monat
Summe Zuleitungen	+	Mio. m^3/Monat
Summe Speichereinfluss	±	Mio. m^3/Monat
Summe Entnahmen	–	Mio. m^3/Monat
Summe Rückleitungen	+	Mio. m^3/Monat
(aus ökologischen Gründen) erforderlicher Mindestabfluss	–	Mio. m^3/Monat
Bilanzsaldo = noch verfügbares Wasserdargebot	±	Mio. m^3/Monat

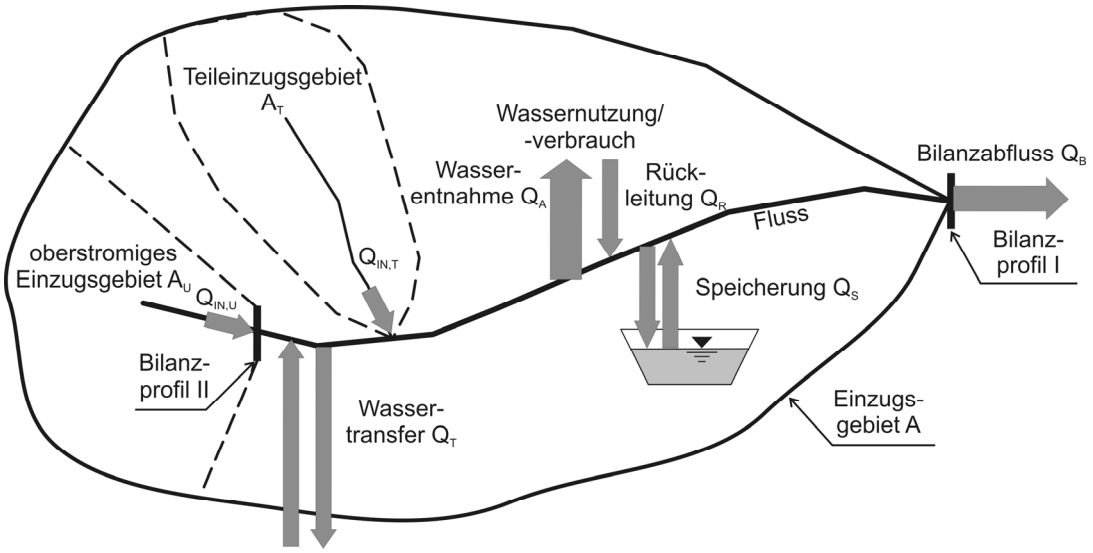


Abb. 1: Komponenten der wasserwirtschaftlichen Bilanz eines Einzugsgebietes (durchgezogene Linie) und zwischen zwei Bilanzprofilen mit Teileinzugsgebieten (gestrichelte Linien). Einfaches Schema.

Die Längsschnittbilanz folgt dem Prinzip „Oberlieger vor Unterlieger“. Eine veränderte Rangfolge von Nutzern ist in dieser einfachen Form nicht möglich.

Die Nutzer stehen praktisch im Wettbewerb untereinander und es müssen Nutzungsprioritäten (basierend auf politischen Beschlüssen) als Funktion des Wasserdargebotes und zahlreicher natürlicher, sozialer und ökonomischer Randbedingungen festgelegt werden (LOUCKS & VAN BEEK 2005). Die Versorgung eines bedeutenden Kraftwerkes mit Kühlwasser ist zum Beispiel von größerer Bedeutung, als die Bereitstellung von Bewässerungswasser für landwirtschaftliche Nutzungen. Zur Überwindung der Nachteile von einfachen Wasserbilanzen wurde in den letzten Jahrzehnten die Methode der detaillierten wasserwirtschaftlichen Bilanz entwickelt.

4 Detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanz

Für die Simulation *detaillierter wasserwirtschaftlicher Bilanzen* wurde schrittweise das heutige komplexe Modellsystem WBalMO (KADEN et al. 2005) entwickelt. Die Entwicklung dieser Modellanwendung in seiner Ursprungsform reicht bis in die 1980er-Jahre zurück (SCHRAMM 1995).

Der ursprüngliche Ansatz bestand darin, detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzen mit simulierten stochastischen Abflussreihen, die auf der Grundlage von Beobachtungsdaten mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode erzeugt wurden, zu verknüpfen, um Speicherausbaugrößen zu ermitteln. Durch die Zufallsexperimente wurden synthetische Datenreihen geliefert, die neue Kombinationen von Werten und Auftretenshäufigkeiten enthielten (GRÜNEWALD 2001).

Als Ergebnis konnten z. B. neue Bedingungen für Niedrigwasser- oder Hochwasserperioden berechnet werden, die in der kurzen Beobachtungsreihe nicht enthalten waren. Diese Methode erfordert die Bereinigung der Beobachtungsdaten von Wassernutzungseinflüssen. Solche Separationen waren jedoch z. B. für die bergbaubeeinflussten Abflüsse der Spree und Schwarzen Elster nicht durchführbar. Ein Ausweg hierfür wurde mit der indirekten deterministischen Abflusssimulation gefunden, die auf der stochastischen Simulation der ursächlichen Prozesse, wie Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung basiert (SCHRAMM 1995). Dies ermöglicht schließlich auch die Einbeziehung von Szenarien globaler Klimaänderungen oder Änderungen der Landnutzung (s. Abb. 2).

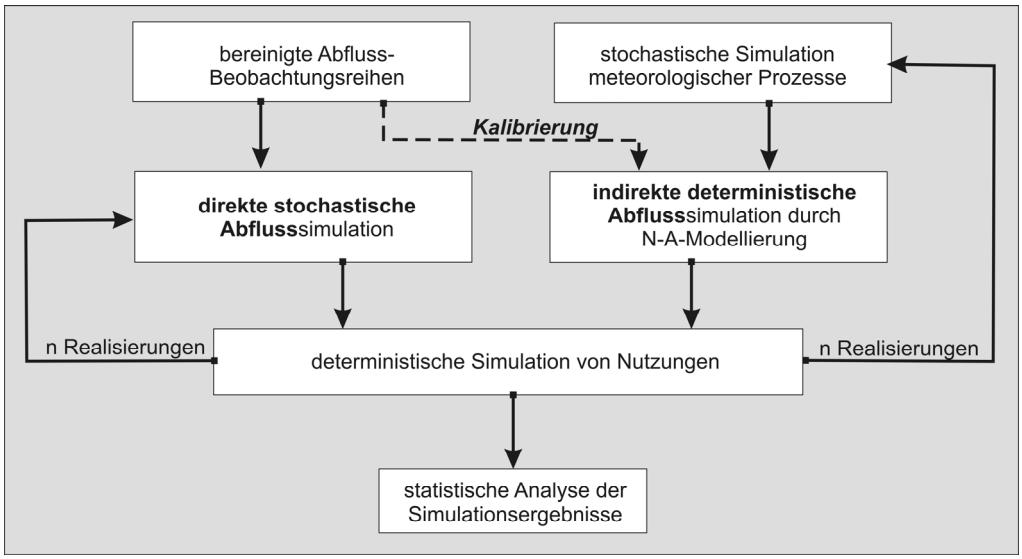


Abb. 2: Methodik der stochastischen Planungs- und Bewirtschaftungsmodellierung auf der Basis detaillierter wasserwirtschaftlicher Bilanzen

Gemäß KADEN et al. (2005) sind solcherart entwickelte stochastische Planungs- und Bewirtschaftungsmodelle – wie vielfältige weitere bei LOUCKS & VAN BEEK (2005) zu finden – charakterisiert durch:

> schematische Darstellung des Gewässernetzes in einem Flussgebiet durch Bilanzprofile mit Angabe der Fließrichtung

- lage- und mengengerechte Berücksichtigung der Wassernutzungen durch Zuordnung zu den Bilanzprofilen
- Einbeziehung von Feuchtgebieten als „Wassernutzer“, beschrieben durch entsprechende Wasserhaushaltsmodelle
- Einbeziehung von Speichern

5 Zusammenfassung und Ausblick

Solche *Modelle auf der Basis der detaillierten Oberflächenwasserbilanzierung* stellen demnach außerordentlich flexible Planungsinstrumente für Flussgebiete mit komplexer Bewirtschaftung dar, die z. B. durch eine Vielzahl von Nutzern mit evtl. monatsabhängigem Bedarf, Talsperrensysteme, Überleitungen, Bedarfsdeckungsschwierigkeiten usw. gekennzeichnet sind. Sie überwinden u. a. die häufig in der klassischen Wasserwirtschaft vorgenommene Stationaritätsannahme. Außerdem sind durch die „dynamischen Elemente“ z. B. auch Grundwassernutzungsprobleme und Wasserbeschaffenheitsprobleme in den betrachteten Einzugsgebieten einbeziehbar. Dazu bedarf es jeweils einer aufgaben- und problembezogenen Formulierung der Zusammenhänge zwischen den Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser bzw. der Wassermengen- und der Wasserbeschaffenheitsparameter.

Inzwischen gibt es weltweit vielfältige weitere solche leistungsfähige Bewirtschaftungsmodelle zur Bewältigung vielfältiger unterschiedlicher Nutzungskonflikte in Gewässereinzugsgebieten (siehe z. B. LOUCKS & VAN BEEK 2005). Einen methodischen Vergleich zweier solcher Modellsysteme WRAP (WURBS 2005a, b) und WBalMo (KADEN et al. 2004) nehmen KOCH & GRÜNEWALD (2009) vor. An zwei Fallbeispielen demonstrieren sie die Leistungsfähigkeit solcher Modelle. Sie zeigen aber auch auf, wie sorgfältig sich der Modellanwender mit der konkreten Nutzungs- und Konfliktsituation in den Gewässereinzugsgebieten auseinandersetzen muss. Keinesfalls zu empfehlen sind zu starke Vereinfachungen bzw. Trivialisierungen, denn diese können dann schnell zu großen Fehlern in den Modellierungen bzw. bei den darauf basierenden Bewirtschaftungsempfehlungen für die Flusseinzugsgebiete führen.

Literatur

BOTH, W., U. GRÜNEWALD, M. KOZERSKI, M. SCHRAMM (1982): Studienmaterial für das postgraduale Studium „Oberflächenwasserbewirtschaftung“. TU Dresden, Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft Berlin, Ingenieurschule für Wasserwirtschaft, Magdeburg.

GRÜNEWALD, U. (2001): Wasserwirtschaftliche Planungen. In: Lecher, K., H.-P. Lühr, U. Zanke (Hrsg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 8. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, S. 1123 - 1163.

KADEN, S., M. SCHRAMM, M. REDETZKY (2004): ArcGRM: interactive simulation system for water resources planning and management in river basins. In: Xi, R. Z., Gu, W. Z., Seiler, K. P. (eds.): Research basins and hydrological planning. Taylor & Francis, London, pp. 185 - 192.

KADEN, S.; M. SCHRAMM, M. REDETZKY (2005): Großräumige Wasserbewirtschaftungsmodelle als Instrumentarium für das Flussgebietsmanagement. In: Wechsung, F.; Becker, A., Gräfe, P.: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 6., Weißensee Verlag, Berlin, S. 223 - 233.

KOCH, H., U. GRÜNEWALD (2009): A comparison of modelling systems for the development and revision of water resources management plans. Water Resources Management (2009) 23: 1403 - 1422.

LOUCKS, D. P., E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management. UNESCO: 680 S.

SCHRAMM, M. (1995): Die Bewirtschaftungsmodelle LBM und GRM und ihre Anwendung auf das Spreeeinzugsgebiet. In: Wasserbewirtschaftung an Bundeswasserstraßen. Mitteilung Nr. 8 der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, S. 7 - 19.

WURBS, R. A. (2005a): Modeling rivers/reservoir system management, water allocation and supply reliability. J. Hydrol. (Amst.) 300: 100-113. doi:10.1016/j-jhydrol.2004.06.003.

WURBS, R. A. (2005b): Fundamentals of water availability modeling with WRAP, Technical Report TR-283. Texas Water Resources Institute, College Station.

Kontakt:
Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Grünewald
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft
PF 101344, 03013 Cottbus
Tel.: 0355/ 694234
Fax: 0355/ 694235
E-Mail: Uwe.Gruenewald@tu-cottbus.de

BEWASYS Edertalsperre – Aufbau eines Bewirtschaftungsmodells der Edertalsperre für den operationellen Betrieb

Jochen Hohenrainer, Jiri Cemus, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Patrick Preuß und Katharina Richter

1 Einleitung

In Deutschland befinden sich zwei Talsperren im Bundeseigentum. Beide liegen im westhessischen Berg- und Senkenland und werden vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Hann. Münden im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Mitte betreut (Abb. 1). Die größere und bedeutendere der beiden, die Edertalsperre, besitzt einen Stauraum von 199,3 Mio. m³ und staut die Eder auf eine Seefläche von 11,5 km². Das Stauvolumen der kleineren Talsperre im Nachbareinzugsgebiet an der Diemel beträgt ca. ein Zehntel des Volumens der Edertalsperre (19,9 Mio. m³). Der aufgestaute See hat eine Fläche von ca. 1,7 km².

Die Zweckbestimmung der Talsperren liegt heute auf folgenden Schwerpunkten:

> Niedrigwasseraufhöhung der Oberweser zur Unterstützung der gewerblichen Schifffahrt

> Hochwasserschutz für die untere Eder, die Fulda, die Weser und die Diemel

> Stromerzeugung durch Wasserkraftanlagen

Hinzu kommen weitere Nutzeransprüche, die bei der ursprünglichen Konzipierung der Talsperren zwar noch keine Rolle gespielt haben, mittlerweile aber auch Berücksichtigung finden. Dazu gehören die Berufs- und Sportfischerei, der Wassersport sowie weitere Aktivitäten, die mit dem Tourismus in Verbindung stehen. Aufgrund der unterschiedlichen, zum Teil auch konkurrierenden Ansprüche der verschiedenen Nutzer ist es notwendig, bei der Abgabenplanung verschiedenste Rahmenbedingungen zu beachten. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bei der Festlegung der Talsperrenabgabe im operationellen Betrieb wurde daher die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom WSA Hann. Münden mit „Untersuchungen zur nachhaltigen Bewirtschaftung und Steuerung der Edertalsperre“ beauftragt.

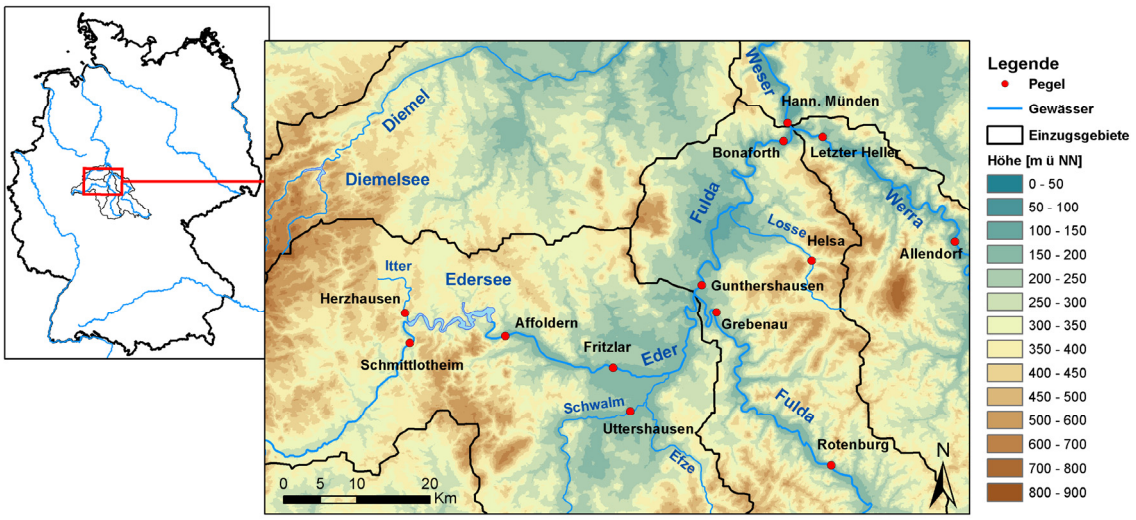


Abb. 1: Untersuchungsgebiet

Diese Untersuchungen gliedern sich in drei Schritte:

(1) Analyse des hydrologischen bzw. wasserwirtschaftlichen Systems. Die Ergebnisse wurden im Bericht BfG-1408 (OPPERMANN & RICHTER 2004) zusammengefasst.

(2) Aufbau eines Niederschlag-Abfluss-Modells (N-A-Modell) HBV-BfG und eines Wellentransformationsmodells (WTM) zur Ermittlung des Gesamtzuflusses zur Edertalsperre einschließlich Niederschlag auf und Verdunstung von der Seeoberfläche (u. a. RICHTER et al. 2008). Beide Modelle wurden bereits an das WSA Hann. Münden übergeben und befinden sich im operationellen Betrieb.

(3) Entwicklung eines Betriebsmodells zur Steuerung der Talsperre im operationellen Betrieb. Zu diesem Zweck hat die BfG ihrerseits einen Auftrag an das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit folgenden Schwerpunkten vergeben: (A) Parametrisierung und Erweiterung des Modellsystems BEWASYS und (B) Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche zur Steuerung und Visualisierung von Abgabevarianten. Der Schritt (A) ist bereits erfolgt, die Benutzeroberfläche befindet sich derzeit noch im Aufbau.

2 Datenbasis und Methodik

2.1 Das Modellsystem BEWASYS

Das Modell BEWASYS wird bereits zur Simulation der Bewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder erfolgreich eingesetzt (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012, siehe S. 42ff.). Dieses Modellsystem dient als Basis für das Bewirtschaftungsmodell der Edertalsperre. BEWASYS ist modular aufgebaut und ermöglicht die Kombination verschiedener linienhafter Elemente (Kanal- und Flusstauhaltungen, Talsperren, frei fließende Gewässer), die durch punktförmige Elemente (z. B. Schleusenstandorte, Ein- und Ausleitungen) weiter spezifiziert werden können. Die zeitliche Diskretisierung beträgt im vorliegenden Fall eine Stunde. Die Systemskizze in Abb. 2 veranschaulicht die im Betriebsmodell eingesetzten Modellbausteine, die nachfolgend kurz erläutert werden. Weiterführende Informationen zu BEWASYS finden sich im Beitrag von PREUß & IHRINGER (2012, s. S. 36ff.) sowie in EBNER VON ESCHENBACH et al. (2011).

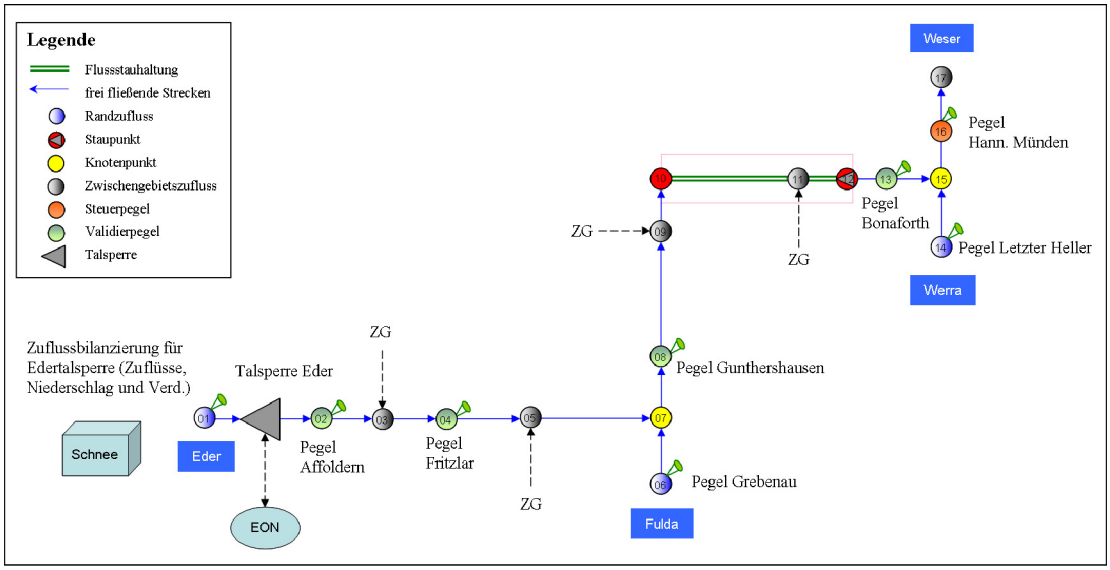


Abb. 2: Systemskizze Betriebsmodell Edertalsperre

Die Edertalsperre selbst wird im Modellsystem unter anderem durch Wasserstands-Oberflächen-Volumen-Beziehungen, jahreszeitlich variierende Stauziele und Abgaberegeln charakterisiert. Zudem wird eine Wasserstands-Abfluss-Beziehung für den unkontrollierten Talsperrenüberlauf vorgegeben. Die Wellentransformation in den Fließgewässern unterhalb der Talsperre (Eder und Fulda) wird durch lineare Doppelspeicherkaskaden beschrieben. Entlang der Fulda befinden sich mehrere Staustufen. Zur Abbildung möglicher Steuerungen der Staustufen ist im Modell eine Flussstauhaltung vorgesehen, die prinzipiell durch Stauziele, Gefälle-Abfluss- und Wasserstands-Volumen-Beziehungen sowie durch die Translationszeit parametrisiert werden kann. Da die benötigten Informationen zur aktuellen bzw. zukünftigen Steuerung der Fulda-Staustufen noch nicht vorliegen, ist die Parametrisierung der Stauhaltung in der aktuellen Modellkonfiguration so gewählt, dass keine Abflussverformung durch diese stattfindet. Die Wellentransformation in der Fulda wird somit allein durch die linearen Doppelspeicherkaskaden simuliert. Sollten zukünftig die benötigten Informationen zur Steuerung der Staustufen vorliegen, kann die Parametrisierung der Flussstauhaltung entsprechend angepasst werden. Des Weiteren sind im Modell Knotenpunkte an repräsentativen Abflusspegeln zum Einlesen von Rand- und Zwischengebietszuflüssen, zur Validierung der Simulationen und zur Steuerung der Talsperrenabgabe (Pegel Hann. Münden/Weser) berücksichtigt.

2.2 Festlegung der Talsperrenabgabe

Die Abgabe aus der Edertalsperre orientiert sich am Talsperreninhalt sowie am Wasserstand am Pegel Hann. Münden/Weser. Das Stauziel der Talsperre variiert jahreszeitlich, wobei der Vollstau zum 1. Mai angestrebt wird, um möglichst viel Wasser zur Niedrigwasseraufhöhung während der trockeneren Sommermonate zur Verfügung zu haben (Abb. 3). Die Mindestabgabe beträgt 6 m³/s, wobei während der Niedrigwasserperioden eine erhöhte Abgabe stattfindet, um den Zielwasserstand in Hann. Münden von mindestens 120 cm (über Pegelnullpunkt PNP) im Schifffahrtsinteresse zu erreichen. Durch die Niedrigwasseraufhöhung nimmt der

Talsperreninhalt während des Sommers ab, wobei das Minimum etwa im Spätherbst erreicht wird. Durch die geringere Füllung steht dann ein größerer Rückhalteraum zur Aufnahme winterlicher, oft schneeschmelzbeeinflusster Hochwasser zur Verfügung.

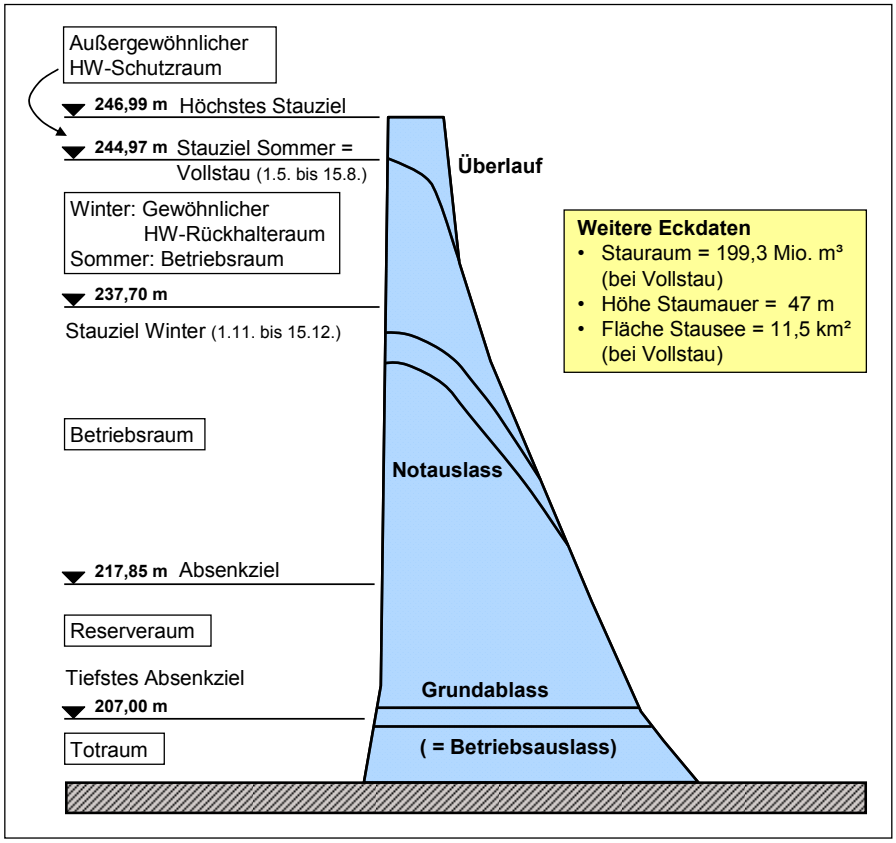


Abb. 3: Schema Edertalsperre (Höhenangaben bezogen auf PNP)

Das Betriebsmodell berechnet standardmäßig automatisch zwei Grundvarianten der Talsperrenabgabe: (1) Abgabe nach den vorgegebenen Steuerregeln (entsprechend der Wasserstände in der Talsperre und am Pegel Hann. Münden) und (2) Abgabe gleich Talsperrenzufluss. Durch Vergleich der Varianten (1) und (2) wird der Einfluss der Talsperre bezüglich der Wasserverfügbarkeit in den unterhalb liegenden Gewässern verdeutlicht. Zusätzlich zu den Grundvarianten können mit dem Betriebsmodell beliebig oft manuell definierte Abgaben vom Anwender vorgegeben und anschließend die jeweiligen Simulationsergebnisse für den Talsperreninhalt und die unterstromigen Gebiete mit den Grundvarianten verglichen werden (Abb. 4).

2.3 Eingangsdaten und Modellablauf

Beim Start des Betriebsmodells wird zuerst eine Simulationsrechnung über die letzten 21 Tage bis zum Vorhersagezeitpunkt (VZP) durchgeführt. Dabei bilden beobachtete Rand- und Seitenzuflüsse sowie die tatsächliche Talsperrenabgabe den Modellinput (Abb. 4). Diese Simulationsrechnung dient der Aktualisierung von Modellzuständen in BEWASYS, um zum VZP ein möglichst realistisches Abbild des tatsächlichen Systems zu erhalten. Ausgehend

von diesem Systemzustand werden dann anschließend die Simulationsrechnungen für die unterschiedlichen Abgabeszenarien bis zu sieben Tage in die Zukunft gerechnet. In diesem Vorhersagezeitraum bilden Abflussvorhersagen die Modelleingangsdaten für die Rand- und Seitenzuflüsse. Dabei wird u. a. auf die operationellen Abflussvorhersagen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie für das Fuldaeinzugsgebiet zurückgegriffen (vgl. BRAHMER 2009).

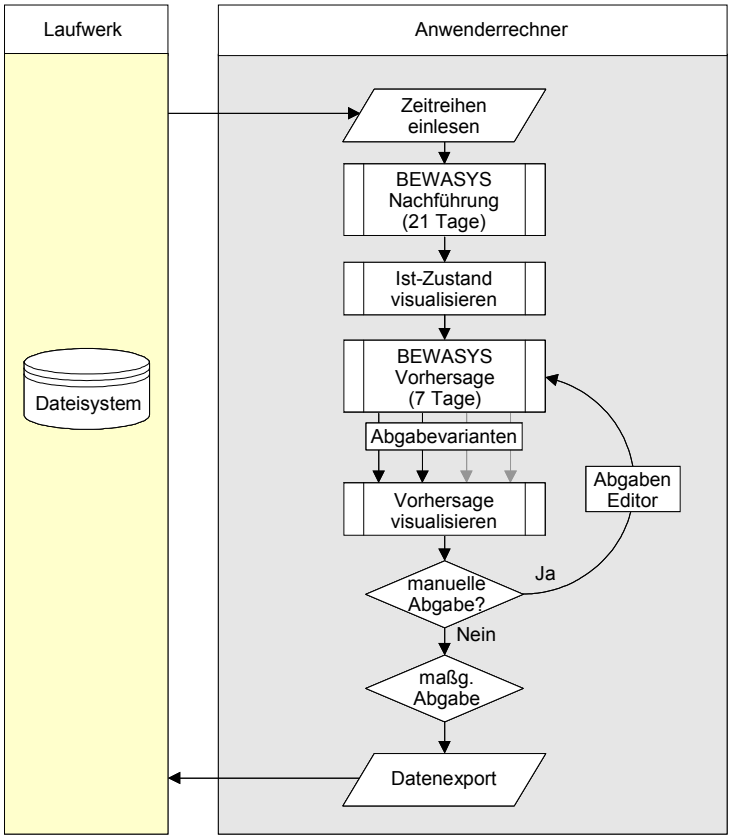


Abb. 4: Ablaufdiagramm BEWASYS Edertalsperre

Zusätzlich zu den Zuflüssen wird das vom N-A-Modell simulierte Schneewasseräquivalent als Volumenganglinie in das Betriebsmodell eingelesen. Dies ist notwendig, da die Größe des Hochwasserschutzraumes der Talsperre im Winter von der im Einzugsgebiet vorhandenen Schneedecke abhängig ist. Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum wird dabei um ein Drittel der im Gebiet in Form von Schnee gespeicherten Wassermenge erweitert, was auch in der Grundvariante 1 der Talsperrenabgabe (s. Abschnitt 2.2) berücksichtigt wird. Unterhalb der Talsperre befindet sich ein Ausgleichsbecken, das gleichzeitig als Unterbecken für zwei Pumpspeicherkraftwerke (2 Oberbecken) der E.ON Wasserkraft GmbH dient. Da sich die Inhalte der drei E.ON-Becken im Tagesgang ändern können, werden diese zur korrekten Bilanzierung der Talsperre ebenfalls berücksichtigt. Im operationellen Betrieb ergibt sich für das Vorhersagesystem der Edertalsperre folgender Ablauf:

(1) Abruf aller benötigten Beobachtungs- und Vorhersagedaten (Wasserstände, Abflüsse, Beckeninhalte, Niederschlag und Temperatur)

(2) Start N-A-Modell für den Beobachtungs- und Vorhersagezeitraum (Input: beobachtete und vorhergesagte meteorologische Größen). Im Ergebnis liegen simulierte Abflüsse sowie Schneewasseräquivalente für das Einzugsgebiet der Edertalsperre vor.

(3) Modelllauf WTM über Beobachtungs- und Vorhersagezeitraum zur Ermittlung der Zuflussbilanzierung der Edertalsperre (einschl. Niederschlag auf und Verdunstung von der Seeoberfläche). In Ergänzung dazu erfolgt die Berechnung von Zwischengebietszuflüssen auf Basis von Referenzpegeln und Übertragungsfaktoren. Datenlücken werden interpoliert bzw. extrapoliert.

(4) Start Betriebsmodell und Abgaberechnungen. Nach Festlegung der maßgeblichen Talsperrenabgabe erfolgt der Export aller relevanten Modelldaten zur Beweissicherung.

3 Plausibilisierung

Das Betriebsmodell wurde anhand von Simulationen unter Verwendung beobachteter Rand- und Seitenzuflüsse plausibilisiert. Die Plausibilisierung erfolgte zum einen für die Talsperrenbilanzierung und zum anderen für die Wellentransformation unterhalb der Talsperre bis zum Pegel Hann. Münden/Weser. Bei der Talsperrenbilanzierung wird über einen längeren Zeitraum die Entwicklung des Talsperreninhalts unter Berücksichtigung der tatsächlichen Talsperrenabgabe am Pegel Affoldern/Eder und des Gesamtzuflusses zur Talsperre einschließlich Niederschlag auf und Verdunstung von der Seeoberfläche betrachtet. Der Gesamtzufluss wird messtechnisch nicht komplett erfasst, d. h. vom gesamten oberirdischen Einzugsgebiet (EG: 1443 km²) liegen Messungen für die Pegel Schmittlotheim/Eder (EG: 1202 km²) und Herzhausen/Itter (EG: 68 km²) vor. Die Zwischengebietszuflüsse unterhalb der Pegel sowie die übrigen Talsperrenzuflüsse werden vom N-A-Modell simuliert.

In Abb. 5 (oben links) sind der Gesamttalsperrenzufluss und die Abgabe am Pegel Affoldern exemplarisch für eine Niedrigwasserperiode im April/Mai 2011 dargestellt. Die vertikale Linie markiert den fiktiven Vorhersagezeitpunkt am 3. Mai um 5 Uhr. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass dabei sowohl im Beobachtungs- als auch im Vorhersagezeitraum Beobachtungsdaten und nicht Vorhersagen den Modellinput bilden. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass, obwohl das Stauziel nicht erreicht ist, die Abgabe meist über dem Mindestabfluss von 6 m³/s liegt, was auf eine gezielte Niedrigwasseraufhöhung hinweist. Aufgrund des im Vergleich zur Abgabe geringeren Talsperrenzuflusses sinkt der Talsperrenwasserstand. Dies wird von BEWASYS prinzipiell korrekt simuliert (Abb. 5, oben rechts), wobei eine insgesamt leichte Unterschätzung der Wasserstände durch das Modell ersichtlich ist. Das kann einerseits in Ungenauigkeiten bei der Simulation der Zwischengebietszuflüsse und der Ermittlung des exakten Niederschlags auf sowie der Verdunstung von der Seeoberfläche begründet sein. Andererseits können auch Unsicherheiten bei den Wasserstands-Abfluss-(W-Q-)Beziehungen der Pegel Schmittlotheim, Herzhausen und Affoldern, z. B. aufgrund von Verkrautung, eine Rolle spielen.

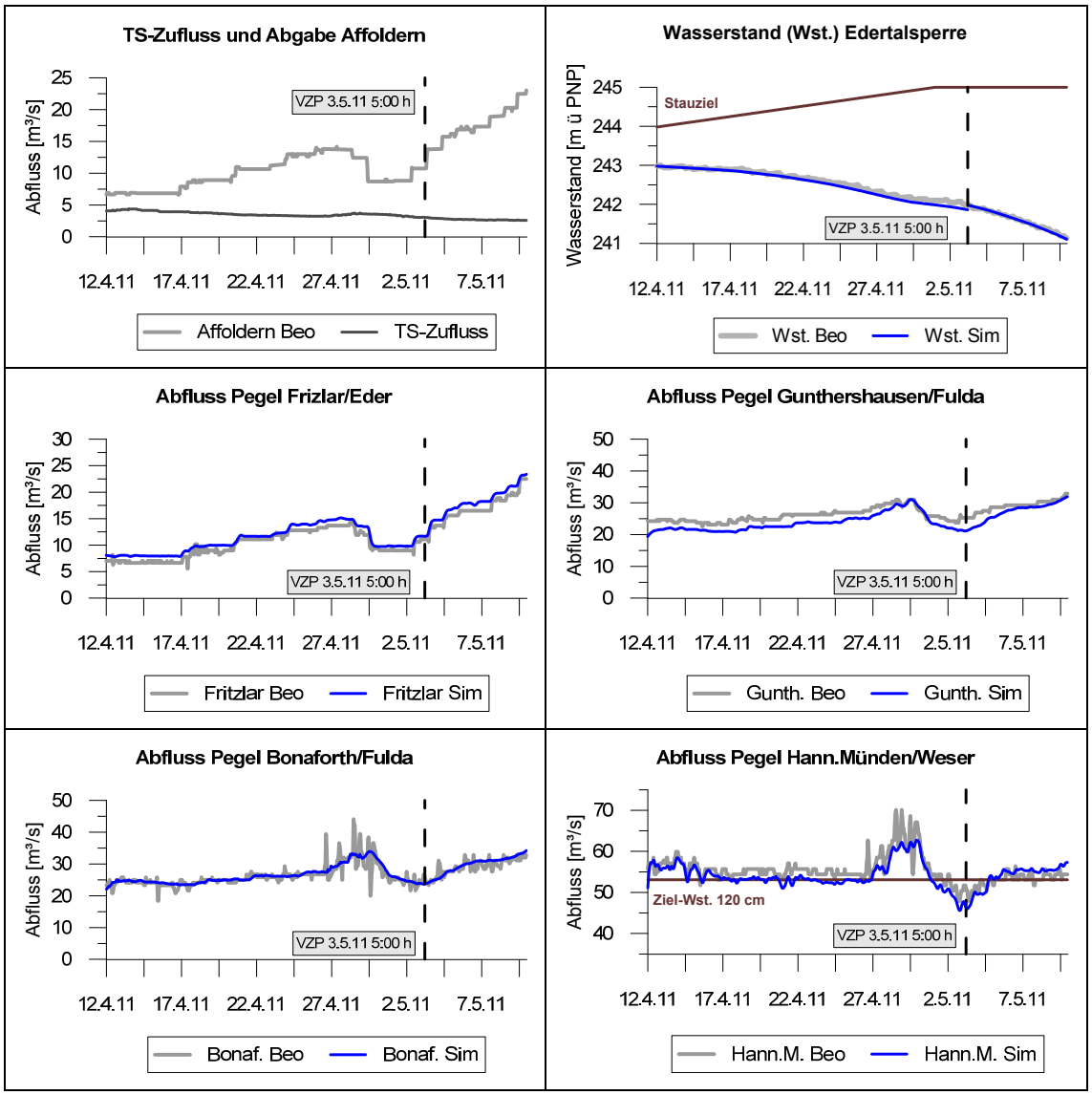


Abb. 5: Beobachtete (Beo) und simulierte (Sim) Ganglinien unter Verwendung beobachteter Rand- und Seitenzuflüsse sowie der tatsächlichen Talsperrenabgabe im Beobachtungs- und Vorhersagezeitraum (VZP: Vorhersagezeitpunkt)

Da es im operationellen Betrieb nicht möglich ist, sämtliche Unsicherheiten zu eliminieren, wird der simulierte Wasserstand zum Vorhersagezeitpunkt (VZP) an die Beobachtung angepasst, um einen möglichst realistischen Ausgangszustand für die Vorhersage zu erreichen (Abb. 5, oben rechts). Die Validierung der simulierten Wellentransformation in den Fließstrecken unterhalb der Talsperre (Eder, Fulda) erfolgt unter Berücksichtigung der tatsächlichen Talsperrenabgabe am Pegel Affoldern/Eder, der beobachteten Randzuflüsse an den Pegeln Grebenau/Fulda und Letzter Heller/Werra sowie der Zwischengebietszuflüsse zur Eder und Fulda. Die messtechnisch nicht erfassten Gebiete werden dabei über Referenzpegel und Übertragungsfaktoren abgeschätzt. Ein Vergleich der Simulationen mit den entsprechenden Pegelmessungen erlaubt Aussagen zur Simulationsgüte des Betriebsmodells. Aus Abb. 5 (Mitte und unten) wird deutlich, dass es teilweise Abweichungen zwischen Simulation und Beobachtung gibt, die für die einzelnen Pegel auch systematisch sein können (z. B. allgemei-

ne Überschätzung am Pegel Fritzlar, Unterschätzung am Pegel Gunthershausen). Zudem werden einzelne Abflussspitzen vom Modell nicht exakt wiedergegeben (z. B. Pegel Bonaforth). Die beobachteten Spitzen haben ihren Ursprung möglicherweise in lokalen Niederschlagsereignissen in ungemessenen Zwischeneinzugsgebieten, wodurch eine Abbildung durch benachbarte Referenzpegel nur bedingt möglich ist. Als Ursache kommen aber auch Steuerungseinflüsse von oberhalb gelegenen Stauhaltungen in Frage. Betrachtet man die Abweichungen der Simulationen von der Beobachtung über alle Pegel, so wird deutlich, dass die Differenzen unsystematisch und teilweise auch sehr gering sind. Diese Tatsache kann als Hinweis darauf dienen, dass, wie oben bereits diskutiert, Unsicherheiten bei den W-Q-Beziehungen der Abflusspegel sowie bei der Abschätzung der Abflüsse aus ungemessenen Gebieten maßgeblich für die Differenzen verantwortlich sind, und dass das Betriebsmodell die Abflüsse grundsätzlich plausibel simuliert.

4 Abgaberechnungen

Die Funktionalität des Betriebsmodells zur Simulation unterschiedlicher Talsperrenabgaben wird nachfolgend exemplarisch für eine quasi operationelle Situation während einer Niedrigwasserperiode dargestellt. Dabei bilden bis zum Vorhersagezeitpunkt Beobachtungsdaten und anschließend im Vorhersagezeitraum Abflussvorhersagen den Modellinput. Der Vorhersagezeitpunkt ist für den 3. Mai 2011 um 5:00 Uhr festgelegt. In Abb. 6 sind die Auswirkungen von vier unterschiedlichen Abgabevarianten auf den zukünftigen Talsperrenwasserstand sowie den Abfluss am Pegel Hann. Münden/Weser grafisch dargestellt. In der Grundvariante 1 erfolgt die Abgabe entsprechend der Steuerregel (s. Abschnitt 2.2). Dies bedeutet im dargestellten Fall eine erhöhte Abgabe zur Aufhöhung der Wasserstände am Pegel Hann. Münden. Aufgrund des geringeren Zuflusses sinkt der Talsperrenwasserstand (vgl. Grundvariante 2: Abfluss=Zufluss). Wie in Abb. 6 (unten) ersichtlich ist, weichen zum VZP am Pegel Hann. Münden Simulation und Beobachtung voneinander ab. Als Ursache hierfür kommen die bereits in Kapitel 3 diskutierten Unsicherheiten in Frage. Um nun die Talsperrenabgabe nicht durch derartige Ungenauigkeiten zu beeinflussen, wird der vorhergesagte Abfluss am Pegel Hann. Münden um die Abweichung zum VZP korrigiert. Andernfalls würde im vorliegenden Fall vom Modell eine zu hohe Talsperrenabgabe vorgegeben werden, um die gesamte Differenz zwischen Simulation und Zielwasserstand zu kompensieren.

Sowohl in der Grundvariante 2 als auch bei einer manuell festgelegten Abgabe von konstant 6 m³/s sinkt der Wasserstand in der Talsperre nur leicht bzw. bleibt konstant. Für den Pegel Hann. Münden würden beide Abgabevarianten sinkende Abflüsse und damit einhergehend eine Verschlechterung der Schiffbarkeit bedeuten. In der vierten Variante wurde manuell die beobachtete Ganglinie am Pegel Affoldern als Talsperrenabgabe vorgegeben. Hier zeigt sich für den Talsperrenwasserstand und für den Pegel Hann. Münden besonders zu Beginn der Vorhersage ein recht ähnlicher Verlauf wie in Grundvariante 1, wohingegen sich die Unterschiede mit zunehmender Vorhersagelänge vergrößern. Bei diesem Vergleich muss jedoch berücksichtigt werden, dass die tatsächliche Talsperrenabgabe auf einer täglich aktualisierten Kenntnis der hydrologischen Situation im Gebiet basiert. Demgegenüber beruht die in Grundvariante 1 vorgeschlagene Abgabe auf Abflussvorhersagen, deren Güte erfahrungsgemäß mit zunehmender Vorhersagelänge abnimmt.

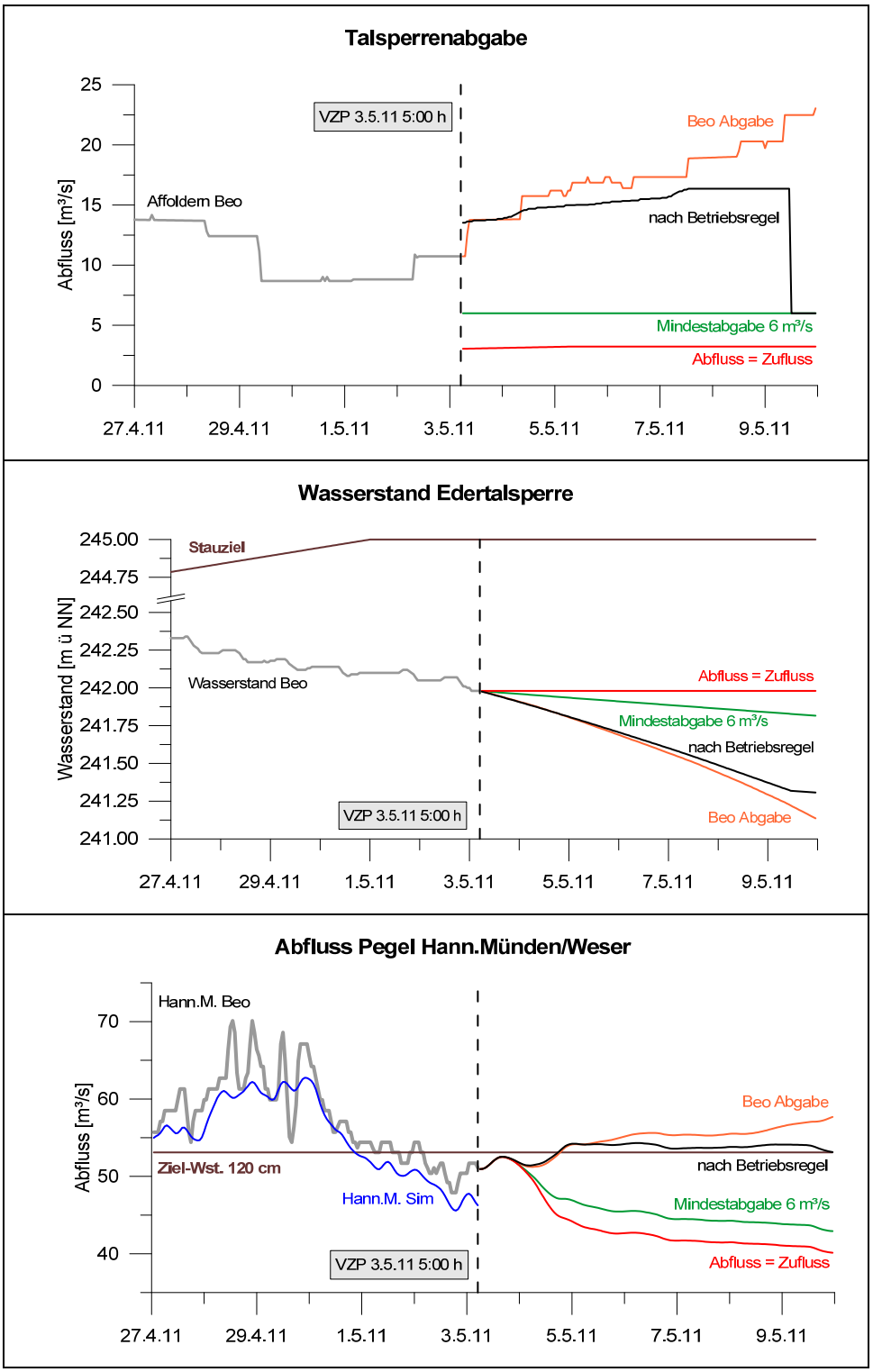


Abb. 6: Simulationsrechnungen mit vier unterschiedlichen Abgabevarianten unter Berücksichtigung vorhergesagter Rand- und Seitenzuflüsse nach dem Vorhersagezeitpunkt (VZP)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit den vorgestellten Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass das Betriebsmodell für die Edertalsperre in der Lage ist, komplexe Rahmenbedingungen, wie beispielsweise jahreszeitlich variierende Stau- bzw. Abgaberegeln unter Berücksichtigung beobachteter und vorhergesagter Rand- und Zwischengebietszuflüsse zu verarbeiten und entsprechend der aktuellen Situation unterschiedliche Abgabevarianten zu simulieren. Anhand der Plausibilisierungsrechnungen wurde jedoch auch deutlich, dass bestimmte Unsicherheiten, z. B. bei den Wasserstands-Abfluss-Beziehungen oder bei der Ermittlung der Zuflüsse aus ungemessenen Gebieten verbleiben. Diese lassen sich jedoch zumindest teilweise über eine Anpassung von Simulation an die Beobachtung zum Vorhersagezeitpunkt kompensieren. Im nächsten Schritt ist die Fertigstellung einer grafischen Oberfläche zur anwenderfreundlichen Bedienbarkeit des Betriebsmodells sowie zur Visualisierung von Ergebnissen notwendig, damit der Testbetrieb des Modells beim WSA Hann. Münden aufgenommen werden kann. Des Weiteren sind auf Wunsch des WSA Hann. Münden noch Möglichkeiten einer Verlängerung des Vorhersagezeitraumes von aktuell sieben Tagen auf bis zu vier Wochen auszuloten, um auch im Fall von größeren Hochwasserereignissen die vollständige Abarbeitung von in der Talsperre zurückgehaltenen Abflussfüllen simulieren zu können.

Literatur

BRAHMER, G. (2009): Operationelle Wasserhaushaltsmodellierung zur Hochwasservorhersage in Hessen, Jahresbericht des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG).

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 42-53

EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, S. KRAUSE, R. OPPERMANN, K. RICHTER, H. - J. THEIS (2011): BEWASYS Rhein-Oder. Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1730.

OPPERMANN, R. & K. RICHTER (2004): Untersuchung zur Bewirtschaftung der Edertalsperre, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1408.

PREUß, P., J. IHRINGER (2012): BEWASYS – Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Kanal- und Flussstauhaltungen. Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle“ am 12./13. Oktober in Hannover. In: Veranstaltungen 2/2012, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 36-41

RICHTER, K., R. OPPERMANN, J. ILSE (2008): Ermittlung der Bemessungsabflüsse BHQ1 und BHQ2 nach DIN 19700 für die Edertalsperre, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1635.

Kontakt:
Jochen Hohenrainer
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306-5180
Fax: 0261/ 1306-5280
E-Mail: hohenrainer@bafg.de

Jiri Cemus
Wasser- und Schifffahrtsamt Hann. Münden
Kasseler Straße 5, 34346 Hann. Münden
Tel.: 05541/ 952-1320
Fax.: 05541/ 952-1400
E-Mail: Jiri.Cemus@wsv.bund.de

Mengen- und Gütebewirtschaftung mit TALSIM-NG in der Planung und im operationellen Betrieb anhand von Beispielen aus der Praxis

Hubert Lohr

1 Einleitung

Das Simulationsmodell TALSIM entstand als Werkzeug zur Bewirtschaftung von Talsperren und wurde an der TU Darmstadt im Auftrag des Landes NRW in den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt. Bereits in der Entwicklungsphase kamen diverse Erweiterungen hinzu. So wurde ein vollständiges Niederschlag-Abfluss-Modell mit verschiedenen Möglichkeiten zur Berechnung der Abflussbildung integriert. Sowohl das einfache SCS-Verfahren als auch die nichtlineare Bodenfeuchtesimulation wurden Bestandteil des Programms.

Seit der Gründung des Ingenieurbüros SYDRO ging die Weiterentwicklung von der universitären Einrichtung zu einem Ingenieurbüro über, mit der Konsequenz, dass reale Projekte und Probleme aus der Praxis den Fortgang von TALSIM immer mehr prägten. Mit der Zunahme an kombinierten Aufgabenstellungen zu Hydrologie und Wassergüte wurde der Programmumfang um die Abbildung des Stofftransportes vergrößert. Mit der Erweiterung um leistungsfähige Pre- und Postprocessing Tools und dem Einsatz von Webtechnologie kamen auch der Mehrbenutzereinsatz, die räumliche Unabhängigkeit zwischen den Kernkomponenten zur Benutzungsoberfläche und der operationelle Einsatz in konkreten Projekten zum Einsatz.

Seit 2009 folgte deshalb konsequenterweise der Schritt zur nächsten Generation des Programms, was sich auch im Namen wiederfindet, denn TALSIM-NG bedeutet TALSIM Next Generation.

Nachfolgend soll anhand von Beispielen gezeigt werden, welche unterschiedlichen Aspekte, Details und Aufgaben bearbeitet werden.

2 TALSIM-NG als Instrument zur Planung

In der Planungsphase kommt es häufig darauf an, ausgehend von einem Ist-Zustand unterschiedliche Varianten abzuleiten, diese zu simulieren und aus den Ergebnissen die entsprechenden Schlüsse zu ziehen. Dabei verlangen die Aufgabenstellungen unterschiedliche Detailschärfe, die es erforderlich macht, das Programm in verschiedenen Skalen arbeiten zu lassen.

2.1 Wasserwirtschaft und Bergbau am Beispiel Restsee Inden

In einer Machbarkeitsstudie wurde untersucht, ob eine Befüllung des Tagebaus Inden nach Beendigung des Kohleabbaus mit Rurwasser möglich ist und wie lange es bei ökologisch verträglicher Entnahme dauern würde.

Im Braunkohleplan wurde festgeschrieben, dass eine Entnahme von Füllwasser aus der Rur nur ohne erhebliche Beeinträchtigung des Ökosystems der Rur und der angrenzenden Feuchtgebiete und nur unter Berücksichtigung aller direkten und indirekten zugelassenen Entnahmen und Einleitungen aus der Rur und aus den von ihr gespeisten Gewässern erfolgen darf. Es wurden Kriterien aufgestellt, nach denen eine Befüllung erfolgen soll.

Dieses Projekt wurde mit dem Flussgebietsmodell TALSIM begonnen und später auf TALSIM-NG fortgesetzt. Simuliert wurde das gesamte Einzugsgebiet der Rur bis einschließlich der Mündung der Wurm mit 2135 km².

Die besondere Aufgabe war es, den unterschiedlichen Detaillierungsgrad abzubilden, der sich durch die wasserwirtschaftliche Situation entlang der Rur ergibt. Der Abfluss der Rur ist geprägt durch die Talsperren des Wasserverbandes Eifel-Rur im Oberlauf. Das Talsperrenverbundsystem zählt zu den komplexesten in Deutschland und besteht aus acht Talsperren und zwei Staubecken, deren wasserwirtschaftliche Betriebsregeln interagieren bzw. direkt gekoppelt sind. Damit diese Regeln realitätsnah im Modell gefahren werden können, ist eine sehr detaillierte Abbildung der Talsperrenstruktur und der Staubecken erforderlich. Betriebsräume, Hochwasserschutzräume, hydraulische Kapazitäten aller Grund- und Betriebsauslässe und Hochwasserentlastungen sowie die hydraulische Kopplung zwischen Obersee und Hauptsee der Rurtalsperre Schwammenauel sind beispielhaft hier zu nennen. Da TALSIM-NG die Möglichkeit bietet, auch hydraulische Aspekte zu modellieren, sind Rückstauphänomene aus einer Hauptsperre in eine Vorsperre, wie dies zwischen Haupt- und Obersee der Rurtalsperre Schwammenauel der Fall ist, darstellbar.

Im Unterlauf der Rur ist das Modell dagegen gröber aufgestellt, da hier Aussagen über das hydrologische Regime notwendig waren, aber keine signifikanten Elemente der Abflussregulierung mehr existieren.

Möglich wird eine solche Abbildung, da TALSIM-NG bei wasserwirtschaftlich komplexen Elementen wie Talsperren mehrere Ebenen bereithält. Während eine Talsperre im Kontext des gesamten wasserwirtschaftlichen Systems als ein Systemelement mit den wesentlichsten Eigenschaften wie Inhalt, Wasserstand, Zufluss und Abgabe erscheint, gibt es darüber hinaus eine zweite Ebene, die quasi einen vertieften Blick in die Anlage selbst und deren Betriebsregeln erlaubt. Dort werden sämtliche Regeln, hydraulischen Funktionen, Eigenschaften des Staukörpers zur Schichtungsberechnung usw. definiert, die auch in der Simulation mit einem eigenen Simulationszeitschritt abgearbeitet werden, der durchaus deutlich kleiner sein kann, als der im gesamten System verwendete Zeitschritt.

2.2 Prognose der Salzbelastung in Werra und Weser

Große Teile von Werra und Weser erreichen unter anderem aufgrund der Einleitung von Salzabwasser aus der Kaliproduktion keinen guten Zustand. Welche Ziele können unter Berücksichtigung der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie für salzbelastete Gewässer definiert werden und wie lassen sich erreichbare Verbesserungen prognostizieren?

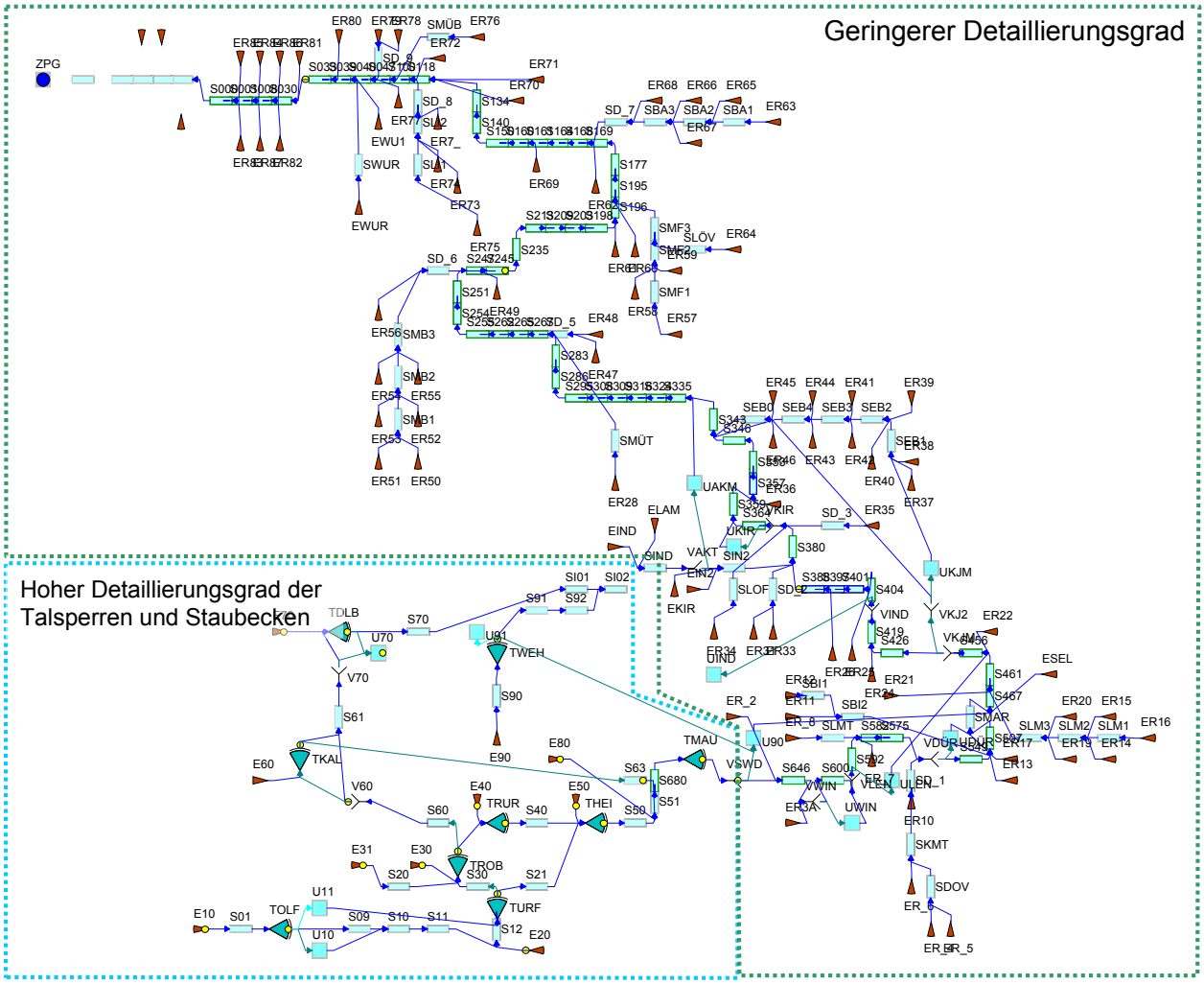


Abb. 1: Systemlogik des TALSIM-NG-Modells der Rur

Seit den 1890er-Jahren werden im Grenzgebiet von Hessen und Thüringen entlang der Werra hochwertige Kalirohsalze aus zwei übereinanderliegenden Kalilagerstätten gewonnen. Das Werk Werra ist ein Zusammenschluss von drei Standorten in Hessen und Thüringen und gehört heute der K+S KALI GmbH. Aus der Produktion fallen Salzlösungen als Abfall an, von denen ein Teil bereits seit etwa 100 Jahren in die Werra eingeleitet wird, ein anderer Teil wird in den Untergrund versenkt. Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden erste Grenzwerte für Chlorid und die Gesamthärte festgelegt. Seit 1943 gilt ein Grenzwert von 2.500 mg/l Chlorid am Pegel Gerstungen.

Trotz der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Produktionstechnologien und der daraus resultierenden Verringerung der Umweltbelastungen stellen die mit der Kaligewinnung verbundene Versalzung von Werra und Weser sowie die Versenkung von Salzabwasser in den Untergrund nach wie vor ein Problem dar. Auf Initiative der Länder Hessen und Thüringen und des Unternehmens K+S AG konstituierte sich deshalb im März 2008 der Runde Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“.

Eine wichtige Aufgabe des Runden Tisches war die Erarbeitung und Prüfung von Lösungsvorschlägen zur Verringerung der Werraversalzung, wobei Fragestellungen zur Erreichbarkeit ökologisch begründeter Ziele für Werra und Weser insbesondere vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu diskutieren waren.

Um die Wirkung verschiedener Maßnahmen und Szenarien auf die Gewässer beurteilen zu können, wurde durch den Runden Tisch die Aufstellung eines Prognosemodells auf Basis von TALSIM-NG veranlasst. Für die Szenarien der Salzbelastung erfolgte die Simulation der Stoffe Chlorid, Kalium und Magnesium, eine konservative Betrachtung war dabei ausreichend. Im Nachfolgeprojekt kam zusätzlich die komplette Abbildung der Salzlaststeuerung hinzu, d. h. die Abwasserströme aus der Produktion werden getrennt nach Lösungen mit den vorhandenen Pufferbecken an drei Standorten und im Zusammenspiel mit der Abflusssituation am Referenzpegel zurückgehalten, dosiert eingeleitet oder in den Untergrund verbracht.

Die unterschiedlichen wasserwirtschaftlichen Komponenten im System erforderten ein großes Spektrum an Simulationsmöglichkeiten. Der Stofftransport zwischen Abwasseranfall über Speicherung in den Becken bis hin zur Einleitung in die Werra hat den Charakter einer Schmutzfrachtsimulation, die Modellierung der Abraumhalden und deren Umfeld ist als Niederschlag-Abfluss-Komponente implementiert, im Gewässer spielt die Translation und Retention und der Stofftransport eine Rolle.

Die Herausforderung im Projekt ist hier sicherlich, die Prozesse der Abflussbildung, des Abwasseranfalls, der Abwassereinleitung und des Stofftransportes in Werra und Weser ausreichend zu erfassen und dabei die Homogenität des Gesamtmodells beizubehalten.

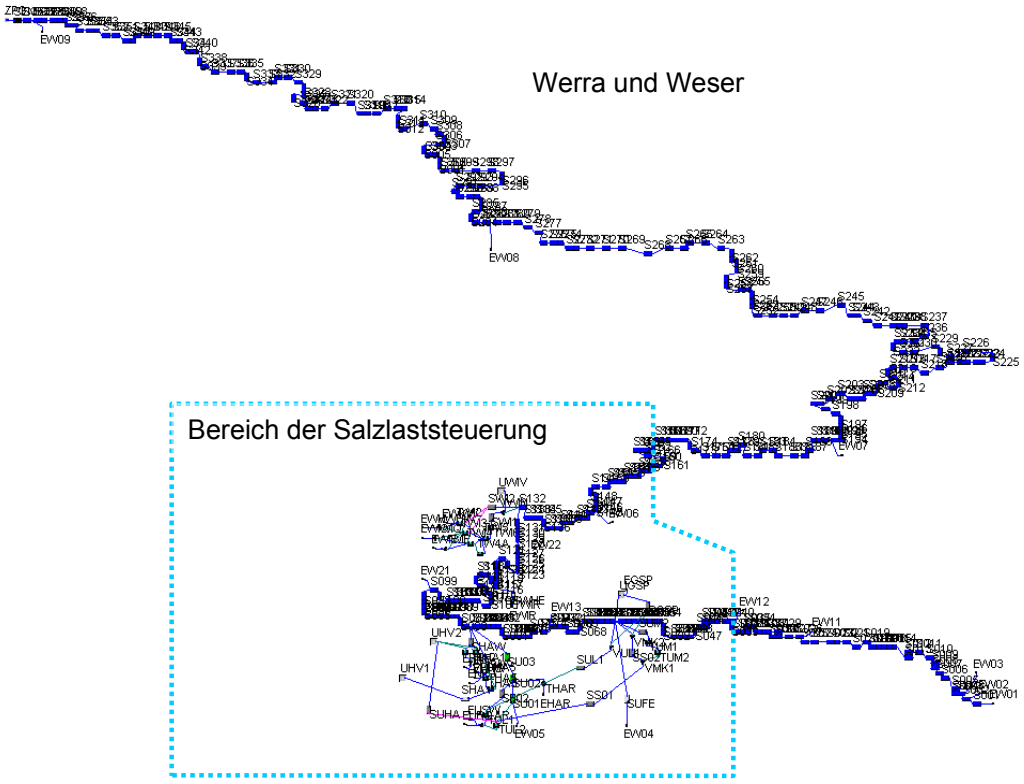


Abb. 2: TALSIM-NG-Modellstruktur zur Salzlaststeuerung von Werra und Weser

3 Operationeller Einsatz

Am Ende einer Planungsphase steht – ein positiver Ausgang der Planung vorausgesetzt – dessen Realisierung. Handelt es sich um betriebliche Aspekte, so besteht mindestens ein Teil der praktischen Realisierung darin, den Planungsinhalt in die tägliche Praxis zu überführen. Übertragen auf den wasserwirtschaftlichen Betrieb bedeutet das, mit den ermittelten Regeln zur Bewirtschaftung in Abhängigkeit der aktuellen Situation Entscheidungen zu treffen, die u. a. ein Öffnen bzw. Schließen von Organen etc. zur Folge haben können und reale Wasserströme auslösen. Sind die Regeln dabei komplex oder sind die Entscheidungen sehr oft zu treffen, bedient man sich EDV-technischer Mittel. Beinhaltet das Werkzeug, welches für die Planung verwendet wurde, alle erforderlichen Einzelheiten und kann mit aktuellen Daten gefüttert werden und ist zudem in der Lage, in einem fortlaufenden Modus zu laufen, ist der Weg zum operationellen Einsatz nicht mehr weit.

3.1 Operationeller Einsatz mit TALSIM-NG

Soll TALSIM-NG im operationellen Betrieb eingesetzt werden, so sind je Projekt natürlich einige Vorarbeiten zu leisten. Klar wird dies, wenn man sich einen Prozessablauf betrachtet.

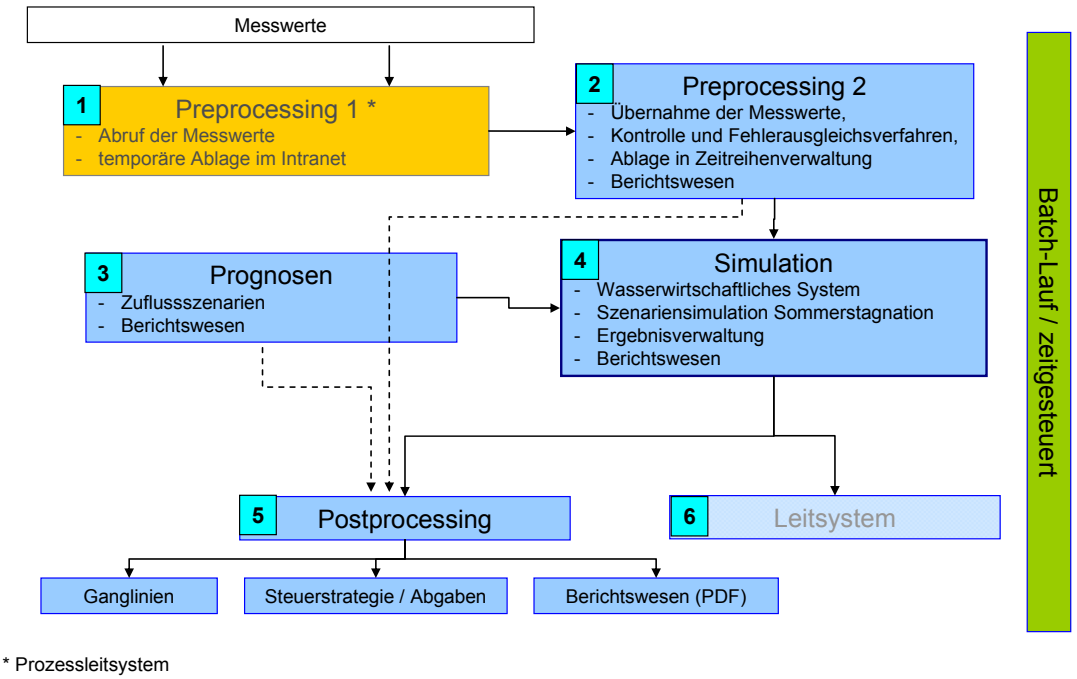


Abb. 3: Prozessablauf beim operationellen Einsatz

3.1.1 Preprocessing

TALSIM-NG selbst ist nicht konzipiert, Messsensoren abzurufen. In der Regel liegen dafür bereits etablierte Werkzeuge vor. Der Prozessablauf aus Sicht von TALSIM-NG beginnt mit der Schnittstelle zu einem Datenlieferanten (Leitsystem, Steuerungssoftware, etc.). Die Ausgestaltung der Schnittstelle ist von Fall zu Fall unterschiedlich und bedarf der genauen Abstimmung. Ziel ist es, zeitnah die benötigten Daten bereitzustellen. Dabei ist es unerheblich, ob die Datenanfrage von Seiten TALSIM-NG gestartet wird oder ob Daten zeitgesteuert auflaufen und TALSIM-NG reagieren soll. Letztendlich stehen aktuelle Messdaten in einem

zeitlich definierten oder variablen Rhythmus zur Verfügung. Die Schnittstelle ist Teil des Preprocessings, welches von einem eigenen Tool in der TALSIM-NG-Produktfamilie bedient wird, dem TaskServer.

Sind die aktuellen Daten per Schnittstelle ausgelesen, liegen diese in der eigenen Zeitreihenverwaltung vor. Der nächste Schritt ist die Prüfung der aufgelaufenen Daten. Eine Prüfung wird immer dann erforderlich sein, wenn ungeprüfte Rohdaten eingelesen werden. Art und Umfang an Prüfungen sind im Einzelfall festzulegen und werden in sogenannten Aufgaben („Tasks“) definiert. Diese Tasks liest der TaskServer aus und setzt sie um. Dahinter steckt eine Art Skriptsprache, die beschreibt, was genau umzusetzen ist. Diese Tasks sind in Dateien abgelegt und werden für den speziellen Fall konfiguriert.

Prüfungen können in unterschiedlichen Tiefen stattfinden:

> Prüfung 1. Ordnung: Basisprüfung einer Zeitreihe in sich selbst
- Min-, Maxwerte
- erlaubte Gradienten

> Prüfung 2. Ordnung: Erweiterte Prüfung mit abgeleiteten Werten
- Korrelation zu anderen Messwerten
- hydrologische Prüfungen

> Prüfung 3. Ordnung: Einsatz von Modellierungstechniken
- Regelbaum mit Übertragungsfunktionen
- Neuronale Netze zur Bestimmung von Ersatzwerten

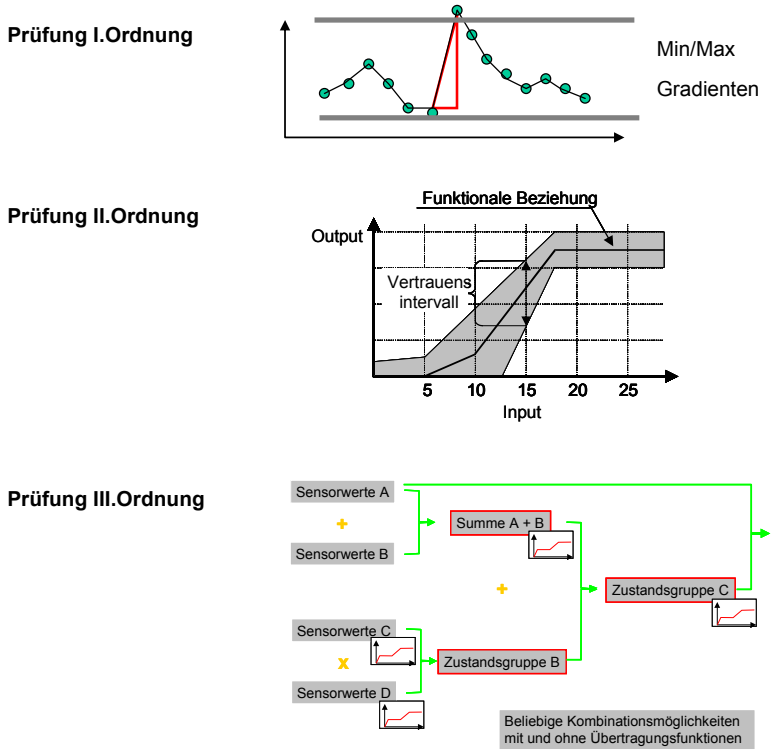


Abb. 4: Datenprüfung unterschiedlicher Tiefe

Es wird sofort klar, dass im Falle einer Prüfung 2. oder 3. Ordnung der Schwerpunkt der Arbeit in der Bereitstellung der Prüfungsregeln liegt.

Die Ergebnisse der Prüfung können wie alle sonstigen Prozessschritte auch in Berichtsform z. B. als PDF abgelegt werden.

3.1.2 Prognosen

Die Art von Prognosen hängt vom jeweiligen Einsatzzweck ab. Im Falle einer reinen Niederschlag-Abfluss-Modellierung liegt es nahe, erwartete Niederschläge bereitzustellen. Der prinzipielle Ablauf ist mit der Schnittstelle zur Datenübernahme aus 3.1.1 vergleichbar.

3.1.3 Simulation

Für die Simulation muss ein vorkonfigurierter Datensatz vorliegen. Änderungen am Datensatz sind zwar jederzeit über die graphische Benutzungsoberfläche von TALSIM-NG möglich, jedoch wird hier unterschieden in Produktionsdatensatz, der für den scharfen Betrieb eingesetzt wird, und quasi beliebig vielen Ableitungen bzw. Varianten davon.

Grundsätzlich braucht es für eine Simulation keine Eingabe eines Anwenders. Es ist aber prinzipiell möglich, bestimmte Parameter freizugeben, die vor Simulationsbeginn gesetzt werden müssen. Diese editierbaren Parameter werden Hot-Spots genannt. So lässt sich auch ein extrem kompliziertes System auf eine einfache Eingabe von wenigen Werten reduzieren, ohne Gefahr zu laufen, durch Fehleingaben unerwünschte Effekte zu erzielen.

3.1.4 Postprocessing

Das Postprocessing übernimmt wiederum der TaskServer. Die Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse, das Exportieren von Ergebnisganglinien in andere Formate oder eine graphische Darstellung der Handlungsempfehlungen gehören zu diesem Schritt.

3.1.5 Datentransfer zurück zu einem Leitsystem

Wenn es erforderlich sein sollte, können Daten auch wieder aus Richtung TALSIM-NG zurück zum Datenlieferanten gelangen. Hier gilt in Bezug auf die Schnittstelle Kapitel 3.1.1.

3.1.6 Gesamtsteuerung des Ablaufs

Die Gesamtsteuerung des Ablaufs übernimmt ein sogenannter JobService. Der sowohl event- als auch zeitgesteuert operieren kann. Der gesamte Prozess ist modular aufgebaut, d. h. es wird im Einzelnen festgelegt, welche Teilprozesse benötigt werden und in welcher Reihenfolge diese ablaufen müssen. Somit ist auch denkbar, dass nur ein Pre- und Postprocessing stattfindet, bzw. Pre- und Postprocessing in einem anderen zeitlichen Takt als Simulationen ablaufen.

3.2 Beispiel der Menge- und Gütebewirtschaftung an der Oleftalsperre

Die Oleftalsperre befindet sich in der Nordeifel etwa 40 km südlich von Aachen nahe der deutsch-belgischen Grenze und besitzt einen Stauraum von 19,3 Mio. m³ in einem Einzugsgebiet von 47,4 km². Betrieben wird die Stauanlage durch den Wasserverband Eifel-Rur (WVER). Die Aufbereitung der entnommenen Rohwassermengen und der Transport des Trinkwassers zum Endverbraucher obliegt dem Wasserverband Oleftal.

Als Ziele mit der höchsten Priorität sind neben dem Hochwasserschutz die Gewährleistung der Versorgungssicherheit der Wasserversorgung und das Halten des Hypolimnions oberhalb eines kritischen Horizonts unter dem Wassergüteaspekt des nutzbaren Rohwassers zu nennen.

Mit der Erweiterung und Optimierung der Betriebsregeln an der Oleftalsperre, war die Notwendigkeit gegeben, die komplexen Regeln aus hydrologischer Situation, Füllstand der Talsperre und Schichtung im Staukörper mit Hilfe der TALSIM-NG-Software berechnen zu lassen und die daraus resultierenden Entscheidungen für den täglichen Betrieb einfach und verständlich darzustellen.

Der Prozessablauf wie in Kapitel 3.1 erläutert kommt hier zum Einsatz. Es gibt allerdings keine Rückführung der Ergebnisse in das Leitsystem.

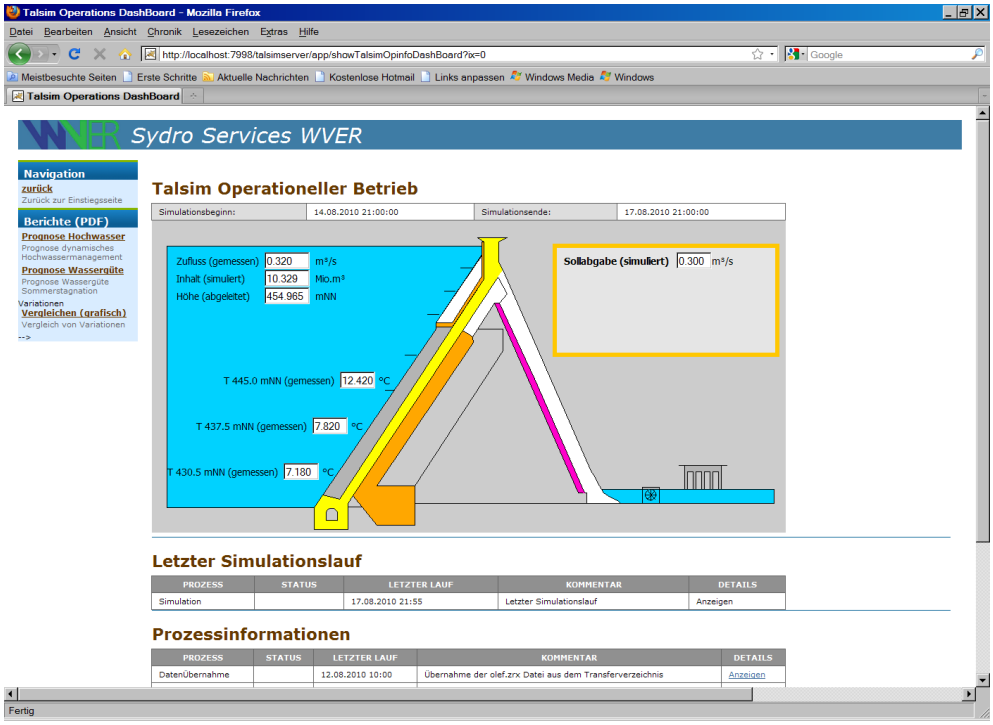


Abb. 5: Schaubild der Entscheidungsgrößen an der Oleftalsperre als Resultat der täglichen Simulation

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Programm TALSIM-NG ist ein umfangreiches Flussgebietsmodell mit einer Reihe damit verbundener Software, die unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten erlaubt. Es besitzt eine vollständige Niederschlag-Abfluss-Komponente mit nichtlinearer Bodenfeuchtemodellierung, die Option zur Simulation des Stofftransportes und verschiedene Ebenen zur Simulation von wasserwirtschaftlichen Regeln und steuerbaren Anlagen wie z. B. Talsperren.

Der Einsatzbereich reicht von der einfachen Niederschlag-Abfluss-Modellierung zur Hochwasseruntersuchung, über die Modellierung des Stofftransportes in großen Einzugsgebieten bis zum operationellen Einsatz. Verschiedene Beispiele sind im vorliegenden Text genannt, die unterschiedliche Schwerpunkte umfassen und Flexibilität verdeutlichen. Für den operationellen Einsatz ist der grundsätzliche Ablauf beschrieben.

Aktuelle Projekte sind die Salzlaststeuerung der K+S Kali GmbH sowie Untersuchungen zum Wasserkraftwerk Rurtalsperre mit Schwerpunkt der Kopplung von Wassermenge und Wassergüte.

Literatur

LANGE, J., H. LOHR, H. POLCZYK (2010): Gekoppelte Bewirtschaftung von Wassermenge und Wassergüte an der Oleftalsperre. Veröffentlichung im Rahmen des 15. Deutschen Talsperrensymposiums. DTK, Aachen.

Bezirksregierung Köln (2004, 2010): Restsee Inden – Quantifizierung der nutzbaren Entnahmemengen aus der Rur und Bewertung ihrer Auswirkungen auf das Gewässersystem der Rur. Unveröffentlichtes Gutachten. Bezirksregierung Köln, RWE Power.

Runder Tisch Werra (2010): Bilanzierungs- und Prognosemodell zur Salzbelastung von Werra und Weser. Unveröffentlichtes Gutachten. www.runder-tisch-werra.de.

Kontakt:
Dr.-Ing. Hubert Lohr
SYDRO Consult GmbH
Mathildenplatz 8
64283 Darmstadt
Tel.: 06151/ 367 367
Fax: 06151/ 367 348
E-Mail: h.lohr@sydro.de

Bewirtschaftung des Havel-Spree-Gebiets mit WBalMo

Michael Kaltofen, Martina Schramm und Fabian Müller

1 Einleitung

Im Rahmen des vom BMVBS geförderten Forschungsprojekt KLIWAS wird eine Modellierung des Wasserhaushaltes (Wassermenge und Gewässergüte) des Elbegebietes unter Berücksichtigung des Klimawandels durchgeführt. Im niederschlagsarmen, stark anthropogen geprägten Havelgebiet, einem rechten Nebenfluss der Elbe, hat die Wasserbewirtschaftung eine sehr große Bedeutung, da einem geringen natürlichen Wasserdargebot ein hoher Wasserbedarf gegenübersteht. Der Wasserhaushalt der Spree, des Hauptzuflusses der Havel, ist zum Beispiel durch den vormals sehr aktiven Braunkohletagebau beeinflusst. Vor diesem Hintergrund zeichnen sich z. B. folgende Entwicklungen ab:

- Durch die Einleitung von Sümpfungswasser in die Spree wurde in den letzten Jahrzehnten das Wasserdargebot im Gebiet unterhalb der Tagebaue künstlich erhöht. Aufgrund der schrittweisen Stilllegung einzelner aktiver Tagebaue in der jüngeren Vergangenheit sind die Sümpfungswässer zurückgegangen, so dass der Wasserhaushalt der Spree deutlich geringer gestützt wird.
- Im Rahmen der Nachsorge stillgelegter Tagebaue wird Wasser zur Flutung benötigt.
- Eine mögliche Vergrößerung der Abbauflächen oder die Einstellung des Braunkohletagebaus wird Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben, die zu berücksichtigen sind.

Die Wasserhaushaltsuntersuchungen im Einzugsgebiet der Havel müssen daher zusätzlich unter Berücksichtigung der Wasserbewirtschaftung durchgeführt werden.

Untersuchungen zum Wasserhaushalt im Havelgebiet erfolgen seit vielen Jahren erfolgreich mit dem Langfristbewirtschaftungsmodell WBalMo, welches zugleich auch die Programmbasis für das Bewirtschaftungsmodell der Länder Berlin, Brandenburg und Sachsen darstellt. Das Bewirtschaftungsmodell der Länder setzt sich aus einzelnen WBalMo-Bausteinen zusammen (WBalMo Spree/Schwarze Elster, WBalMo Berlin, WBalMo Havel, WBalMo jeweils für die Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz). Es wird im Folgenden zusammengefasst WBalMo Havel-Spree genannt. Dieses Ländermodell soll aufgrund seiner Eignung für langfristige Untersuchungen bei sich verändernden Rahmenbedingungen sowie wegen der Vergleichbarkeit und der möglichen Bewertung von Ergebnissen früherer Analysen zur Anwendung kommen.

Die für die wasserwirtschaftliche Modellierung als Eingangsdaten erforderlichen natürlichen (von Nutzungen unbeeinflussten) Durchflüsse werden durch das mit dem WBalMo gekoppelte Niederschlag-Abflussmodell EGMO-D erzeugt. Die seinerseits für das EGMO-D benötigten meteorologischen Größen werden durch stochastische Autoregressionsmodelle generiert. Die diesbezügliche statistische Analyse und Simulation erfolgt mit der Software SIKO/SIMO (SIKO/SIMO 2001).

2 Methodische Grundlagen

Voraussetzung für das Programmsystem WBalMo Havel-Spree sind ein stochastisches Simulationsmodell zur Generierung vieljähriger stochastischer Monatswertreihen verschiedener meteorologischer Größen sowie ein N-A-Modell zur Modellierung vieljähriger Reihen des quasinatürlichen Dargebotes. Beide Modelle müssen für alle Teilgebiete aufgebaut und angewendet werden. Die einzelnen Teile des Modellverbundes (Stochastisches Modell – N-A-Modell – Bewirtschaftungsmodelle WBalMo Havel-Spree) sind hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Struktur aufeinander abzustimmen.

Bewirtschaftungsmodell WBalMo

Die Software WBalMo basiert auf der Methodik der detaillierten Oberflächenwasserbilanz und stellt dem Anwender ein interaktives Simulationssystem für die langfristige Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung in Flussgebieten zur Verfügung. Nach dem Monte-Carlo-Prinzip arbeitend stellt es einem stochastisch generierten natürlichen Wasserdargebot die wasserwirtschaftlichen Nutzungen (Entnahmen, Einleitungen, Speicherbewirtschaftung, Überleitungen) im Zeittakt eines Monats mengenmäßig gegenüber. Durch die Registrierung von interessierenden Systemzuständen während der Simulation lassen sich zugehörige Wahrscheinlichkeitsaussagen treffen (z. B. Defizite in der Wasserbereitstellung, Einhaltung von Mindestabflüssen oder Speicherfüllungen). Mit Hilfe zielgerichteter Variantenrechnungen werden Aussagen zur Entwicklung des Wasserhaushalts unter veränderten Randbedingungen ermittelt.

In den WBalMo Havel-Spree wird die Bewirtschaftung der Flussgebiete sowohl hinsichtlich der Bereitstellung von Zuschusswasser aus Talsperren bzw. Speichern und des Bedarfsmanagements als auch der Priorität von Wassernutzungen – unabhängig von ihrer Lage – vorgenommen. Mit einer Vielzahl frei definierter Algorithmen werden weitere spezifische Bewirtschaftungsprozesse bis hin zum Feuchtgebietsmanagement oder der dynamischen Bedarfsberechnung realisiert.

N-A-Modell EGMO-D

Das Einzugsgebietsmodell EGMO-D (GLOS 1984) ist ein Mehrkomponentenmodell (Grundwasser, hypodermischer Abfluss, Niederungsflächen- und Direktabfluss) und wurde speziell für längere Zeitschritte (Dekade, Monat) konzipiert. Meteorologische Eingangsgrößen sind Niederschlag und potenzielle Verdunstung nach Turc-Ivanov. Es wurde schon für die Abflusssimulation in der Spree, der Havel und deren Zuflüsse (Rhin, Nuthe, Buckau, Dosse, Jäglitz) angewendet (u .a. WASY 2000, 2001).

Für die Anwendung des EGMO-D wird das zu modellierende Einzugsgebiet in drei hydrografische Einheiten unterteilt: grundwassernahe Flächen (Niederungsflächen), grundwasserferne

Flächen (Hochflächen) und Wasserflächen. Für diese hydrografischen Einheiten gelten jeweils unterschiedliche vertikale Modellstrukturen mit ihren spezifischen Parametern. Außerdem können auch sogenannte Fremdabflussflächen berücksichtigt werden, die z. B. durch große Unterschiede zwischen ober- und unterirdischen Einzugsgebieten oder durch bergbaulich bedingte Absenktrichter im Gebiet entstehen. Die Veränderung dieser hydrologischen Eigenschaften kann durch den zeitlich definierten Wechsel der diesbezüglichen Parameter berücksichtigt werden, ohne dass die Simulation unterbrochen wird. Die Anwendung dieser Parametersätze erfolgt im EGMO-D zyklisch für jede Realisation des Untersuchungszeitraumes. Die stochastischen meteorologischen Daten sind entsprechend gleichartig strukturiert. Der Zeitpunkt der Wechsel der Parametersätze innerhalb einer Realisation hängt von den Bewirtschaftungsregeln z. B. der Flutung der Tagebauseen und vom verfügbaren Dargebot ab. Eine entsprechende Rückkopplung vom WBalMo wird gewährleistet.

Die Abflussprozesse werden im EGMO-D durch 10 Modellparameter beschrieben. Bei der Anwendung im Rahmen von Wasserbewirtschaftungssimulationen erfolgt die Bestimmung der Modellparameter mittels einer anthropogen weitgehend unbeeinflussten Abflussreihe (mittlere monatliche Abflüsse) und den zeitgleichen meteorologischen Reihen (monatliche Gebietsmittel des Niederschlages und der potenziellen Verdunstung). Ihre Optimierung erfolgt mit dem Softwaresystem PEST (PEST 2010).

Stochastisches Modell SIKO/SIMO

Das stochastische Modell SIKO/SIKO, ein mehrdimensionales Autoregressionsmodell, dient zur Generierung vieljähriger synthetischer Monatswertreihen von meteorologischen und hydrologischen Größen. Die Grundlage zur Generierung solcher Daten stellen langjährige, statistisch repräsentative Reihen der benötigten Prozessgrößen dar.

Für die Ermittlung der meteorologischen Prozessgrößen müssen zunächst sinnvolle Teilgebiete (TG) definiert werden, für die die jeweiligen monatlichen Gebietsmittelwerte bestimmt werden können.

Das weitere Vorgehen sieht eine primärstatistische Auswertung und die Anpassung einer transformierten Normalverteilung an die empirische Verteilung der betreffenden Prozessgrößen je Monat und TG vor. Nach der Transformation in N(0,1)-verteilte Prozesse erfolgt die Schätzung der Auto- bzw. Kreuzkorrelationsstruktur innerhalb bzw. zwischen den betrachteten Prozessen. Im Anschluss können geeignete Gleichungsstrukturen zur Beschreibung der einzelnen Größen unter Berücksichtigung ihrer Korrelationsstruktur aufgestellt werden. Dabei wird die Reihenfolge der Simulation der einzelnen Prozesse festgelegt. Die Generierung der synthetischen Reihen erfolgt mit den für jeden Monat bestimmten Modellparametern, die im Verlauf der Simulation zyklisch monatsweise gewechselt werden.

3 Anwendung des Modellverbundes im Havel-Spree-Gebiet

Der Modellverbund im Havel-Spree-Gebiet besteht entsprechend der Zielsetzung und der gewählten methodischen Grundlagen aus Neuentwicklungen bzw. Weiterentwicklungen von Modellen (Abb. 1):

> Für die stochastische Simulation meteorologischer Größen wird SIKO/SIMO verwendet, mit dem mehrdimensionale Autoregressionsmodelle für die verschiedenen zu betrachtenden Zeitabschnitte aufgestellt werden (Referenzzeitraum 1951 - 2006, Status Quo 1996 - 2025, nahe Zukunft 2021 - 2050 und ferne Zukunft 2071 - 2100). Die für Zeitabschnitte generierten Werte werden zu kontinuierlichen Realisationen über den Untersuchungszeitraum bis 2100 verknüpft. Als Eingangswerte für SIKO/SIMO kommen Klimaprojektionen verschiedener Kombinationen von Globalen und Regionalisierungsmodellen zur Anwendung.

> Mit den sich ergebenden stochastischen meteorologischen Reihen werden natürliche Durchflüsse mit dem N-A-Modell EGMO-D erzeugt.

> Die summarischen Auswirkungen der zu definierenden Szenarien der Wasserbewirtschaftung und des Wasserbedarfs sowie des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Havel-Spree-Gebietes werden mit den WBalMo Havel-Spree bewertet.

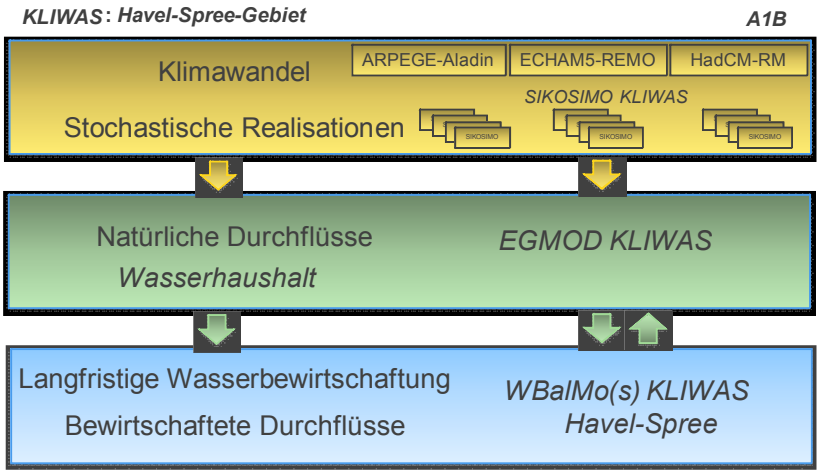


Abb. 1: Modellverbund zur Untersuchung der Auswirkungen von Klimawandel und Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt des Havel-Spree-Gebietes.

Die Güte des Modellverbundes hängt von folgenden Faktoren ab:

> Güte der Transformation in die Normalverteilung und Auswahl physikalisch und numerisch geeigneter Regressoren für die Simulation der stochastischen meteorologischen Größen

> Güte der Kalibrierung und Validität der Parameter des N-A-Modells

Für die Einordnung der Ergebnisse der Bewirtschaftungsmodelle sind die Unterschiede zwischen geplanter und tatsächlicher Nutzung der Wasserressourcen zu bewerten, indem Vergleiche gemessener Durchflüsse mit den simulierten für den Status Quo vorgenommen werden.

Stochastische meteorologische Simulation mit SIKO/SIMO

Für die Simulation wird das Untersuchungsgebiet in 28 Gebiete unterteilt, die sich einerseits an der hydrologischen Gebietsgliederung und andererseits an der räumlichen Variabilität der meteorologischen Größen orientieren (Abb. 2). Insgesamt ergeben sich für die Simulation von

> Niederschlag,
> potenzieller Verdunstung,
> Lufttemperatur und
> relativer Luftfeuchte

74 Prozesse, die einer statistischen Analyse und simultanen Simulation zu unterziehen waren.

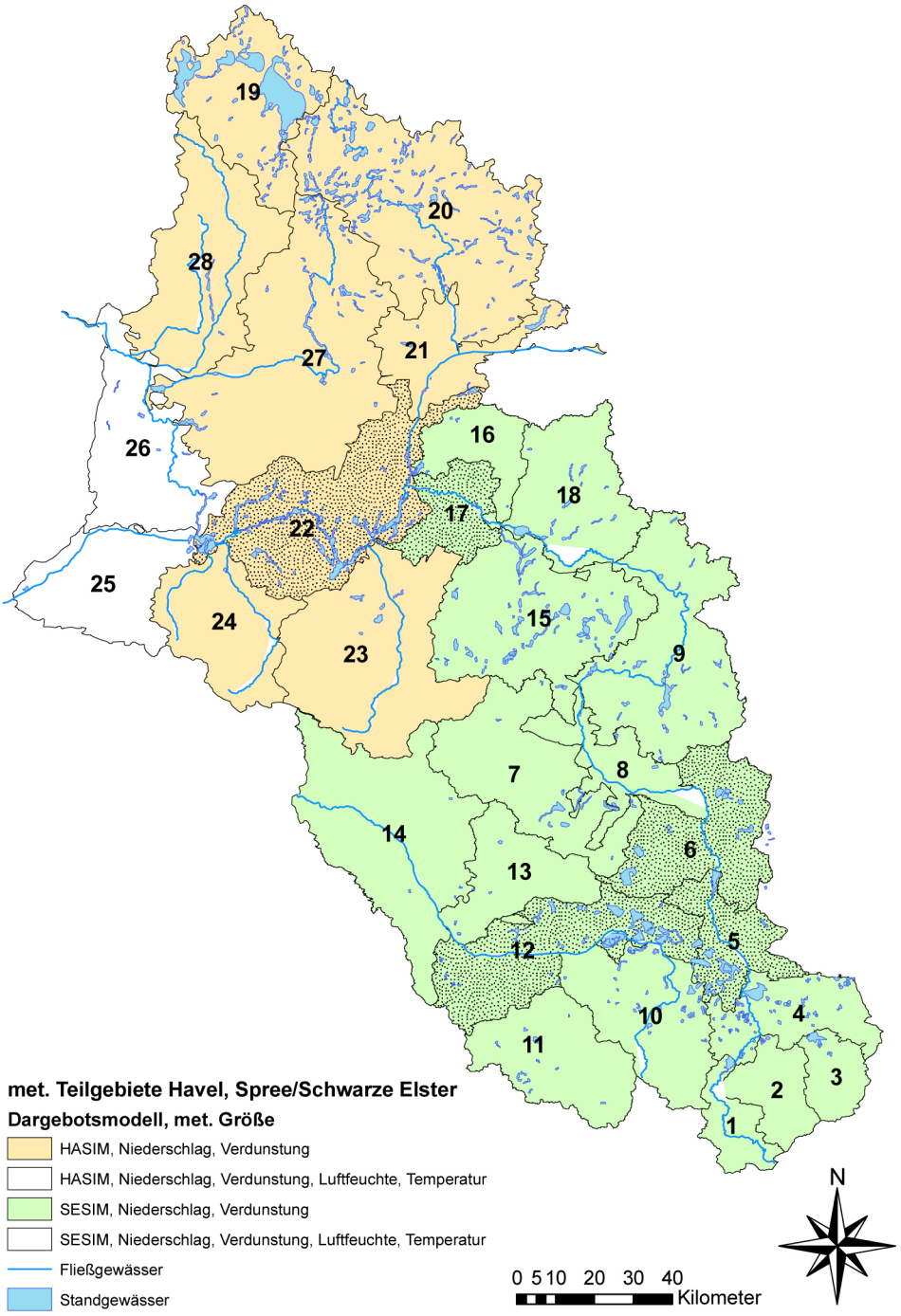


Abb. 2: Gebietsgliederung für die meteorologische Simulation mit SIKO/SIMO

Aus einer Reihe von Verteilungsfunktionen waren für die zu simulierenden Prozesse geeignete Typen auszuwählen, die mit ausreichender Güte eine Transformation in die Standardnormalverteilung gewährleisten. Ein Beispiel für die unterschiedliche Anpassung zweier Verteilungsfunktionen (LN3- und Johnson-Verteilung) zeigt Abb. 3 für Niederschlagsummen des Februars.

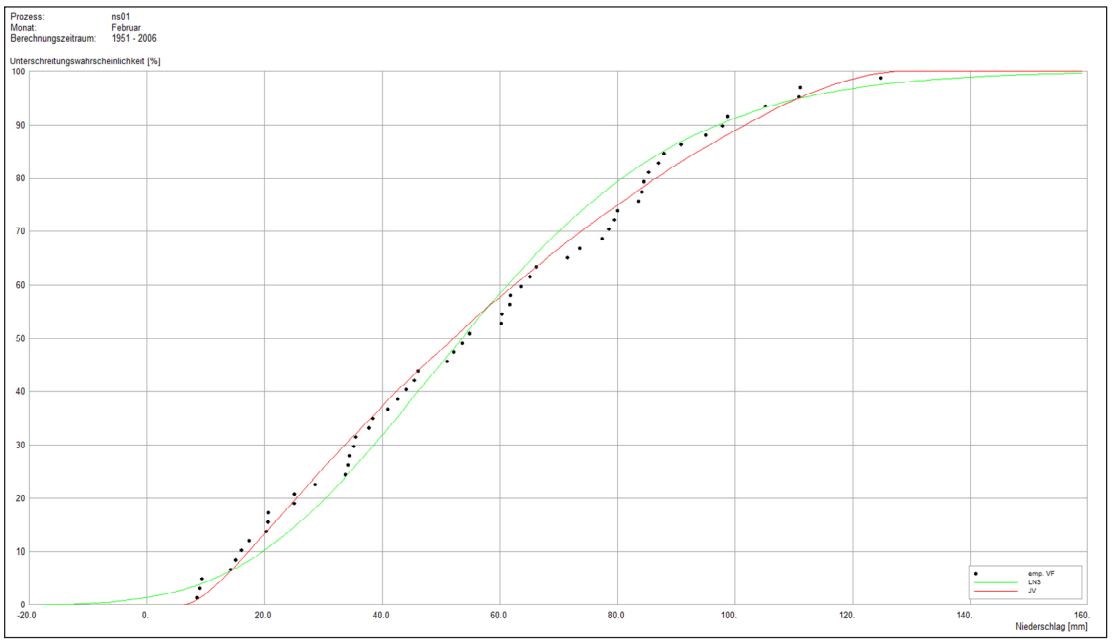


Abb. 3: Anpassung transformierter Normalverteilungen an die empirischen Verteilungen für den Niederschlag im Februar

Die Güte der Anpassung wurde u. a. mit dem N-Omega^2-Kriterium geprüft, das Abweichungen über den gesamten Verlauf der beobachteten Werte zusammenfasst. Um wegen theoretischer und praktischer Erfordernisse für jeden Prozesstyp eine einheitliche Verteilungsfunktion auszuwählen, wurden für jeden Monat, jedes Teilgebiet und jeden Zeitabschnitt des Untersuchungszeitraumes die Gütekriterien ermittelt und statistisch ausgewertet. Abbildung 4 zeigt Plots der Mittelwerte, Mediane, des 25sten und 75sten Perzentils sowie der Minima und Maxima des Gütekriteriums.

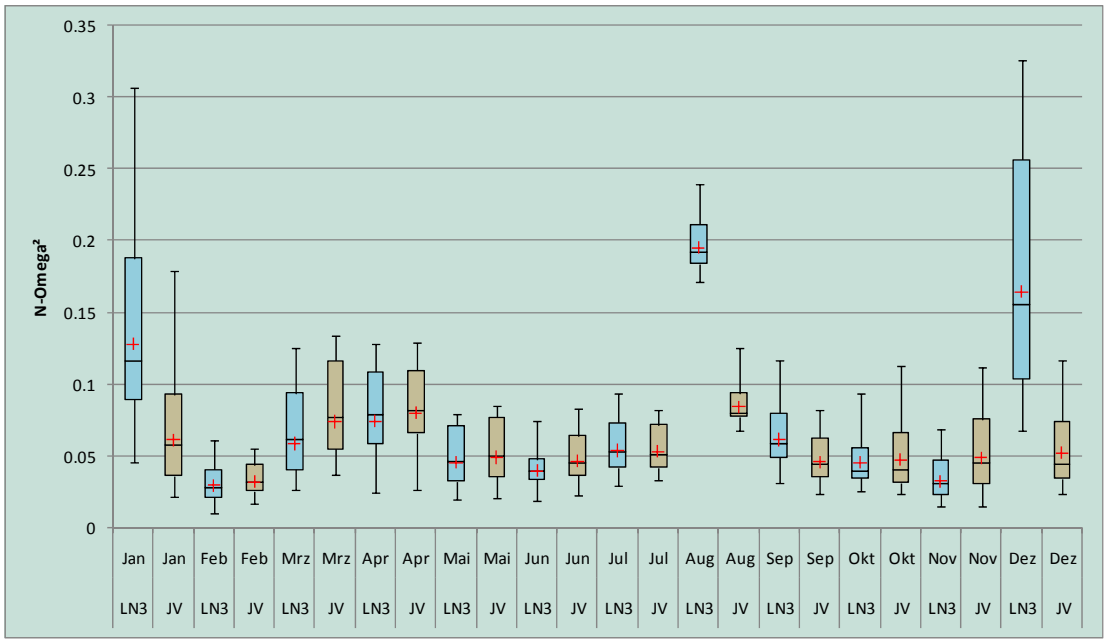


Abb. 4: Statistische Auswertung des N-Omega^2-Kriteriums für die LN3- und die Johnson-Verteilung

Diese Auswertungen führten zur Auswahl der Verteilungstypen. Mit den auf dieser Basis transformierten Messwerten wurden die Simulationsbeziehungen entsprechend der zeitlichen und räumlichen Zusammenhänge aufgebaut.

Die Simulation erzeugt wie erwartet Realisationen der meteorologischen Größen, deren statistische Parameter Mittelwert und Standardabweichung ausreichend gut mit den beobachteten Größen übereinstimmen. Die Extremwerte nehmen dabei aufgrund der größeren Reihenlänge zu (Abb. 5), wie auch die Vielfalt der Aufeinanderfolge von hohen und niedrigen Prozesswerten.

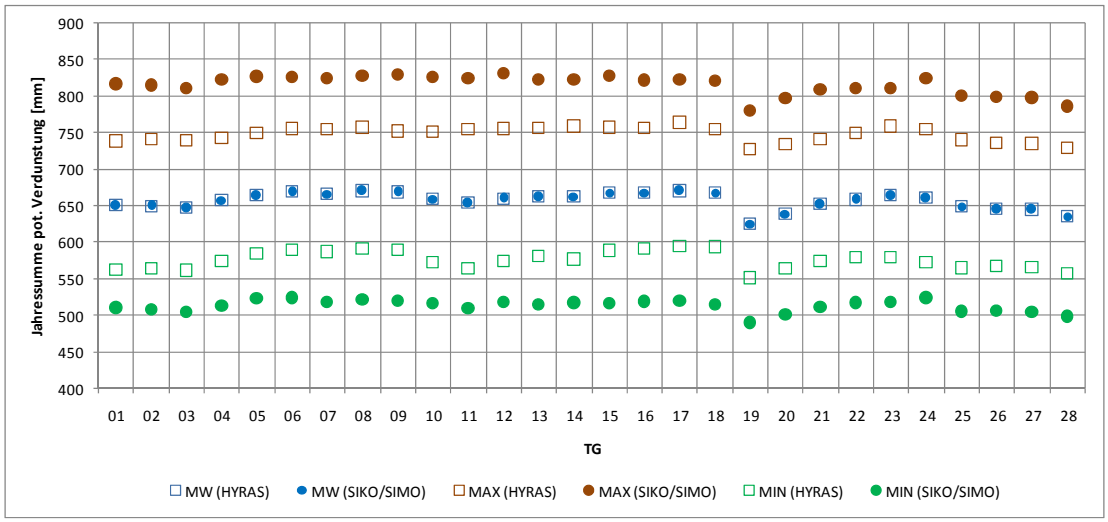


Abb. 5: Statistischer Vergleich der Jahressummen der potenziellen Verdunstung für alle Teilgebiete des Untersuchungsgebietes zwischen Simulation (SIKO/SIMO) und Messung (HYRAS)

Hydrologische Simulation mit EGMO-D

Neben der Bestimmung der hydrografischen Parameter für jedes Teilgebiet stand die Ermittlung geeigneter Modellparameter mit PEST im Vordergrund. Nach erster Prüfung der vorhandenen Daten wurde die Kalibrierung und Validierung der Modellparameter mit PEST für die Teilgebiete begonnen, für die zuverlässige, lange Reihen vorlagen, anthropogen relativ unbeeinflusst bzw. mit der Möglichkeit der einfachen Bereinigung um Nutzungseinflüsse. Für andere Gebiete ist zu prüfen, ob nur eine Übertragung der Parameter von hydrologisch gleichartigen Teilgebieten möglich ist. Dafür war zu zeigen, dass prinzipiell eine Übertragung der Parameter erfolgreich sein kann.

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Optimierung der EGMO-D-Parameter für einen Pegel der Havel.

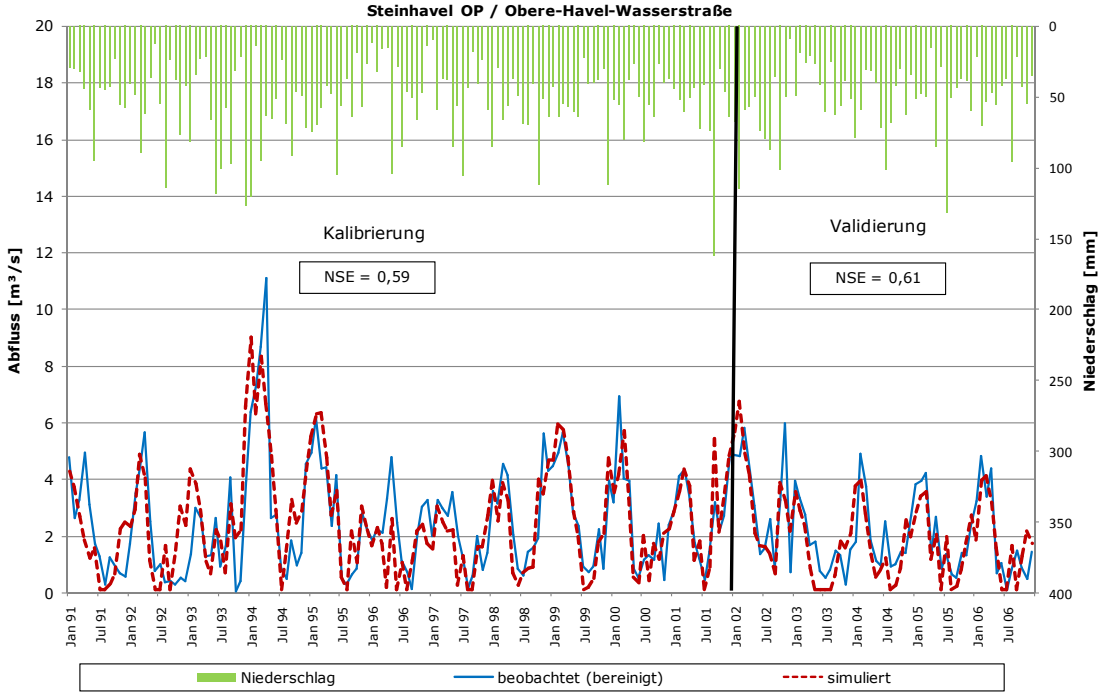


Abb. 6: Vergleich zwischen beobachteten und simulierten Durchflüssen nach der Optimierung der EGMO-D-Parameter mit PEST

Die als Gütekriterium benutzte Nash-Sutcliffe-Effizienz zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten sowohl für den mit PEST kalibrierten Zeitraum als auch den Validierungszeitraum, der nicht zur Kalibrierung verwendet wurde.

Auch die Dauerlinie, die nicht direkt Gegenstand der Optimierung mit PEST war, zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen beobachtet und simuliert (Abb. 7).

Für die Prüfung der prinzipiellen Übertragbarkeit der EGMO-D-Parameter auf hydrologisch gleichartige Teilgebiete wurden zwei diesem Kriterium genügende Einzugsgebiete ausgewählt. Für beide wurden mit PEST erfolgreich Systemparameter ermittelt. Abbildung 8 zeigt, dass auch mit einem für ein anderes Gebiet optimierten Parametersatz noch fast gleichwertige Simulationsergebnisse erreicht werden können.

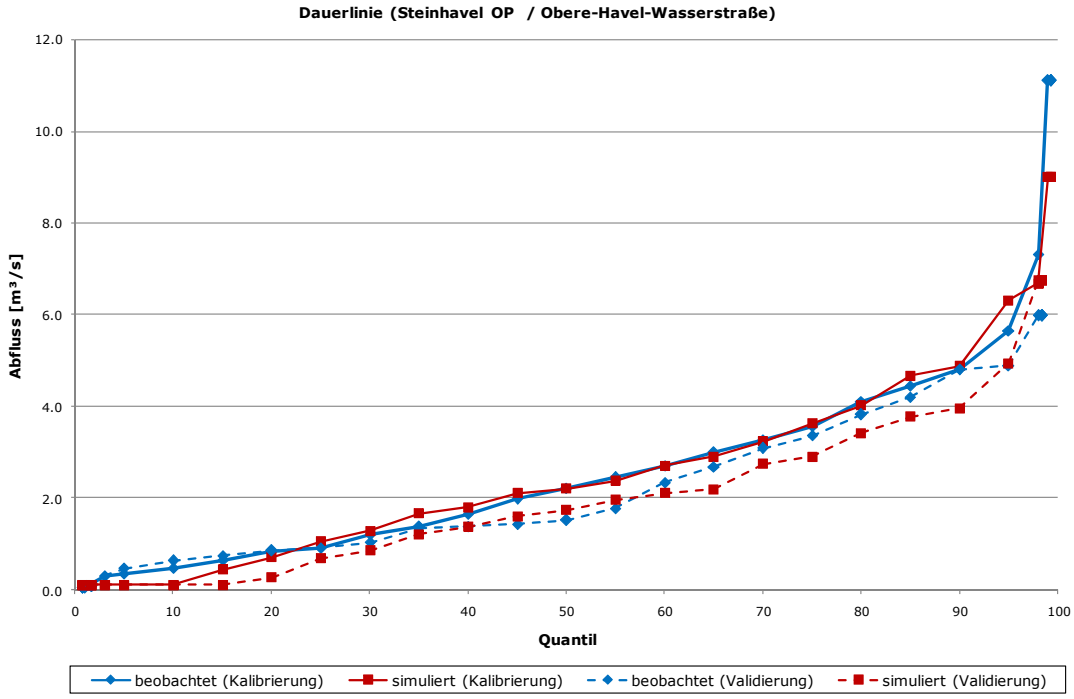


Abb. 7: Vergleich zwischen den Dauerlinien der beobachteten und simulierten Durchflüsse für den Kalibrierungs- und Validierungszeitraum nach der Optimierung der EGMO-D-Parameter mit PEST

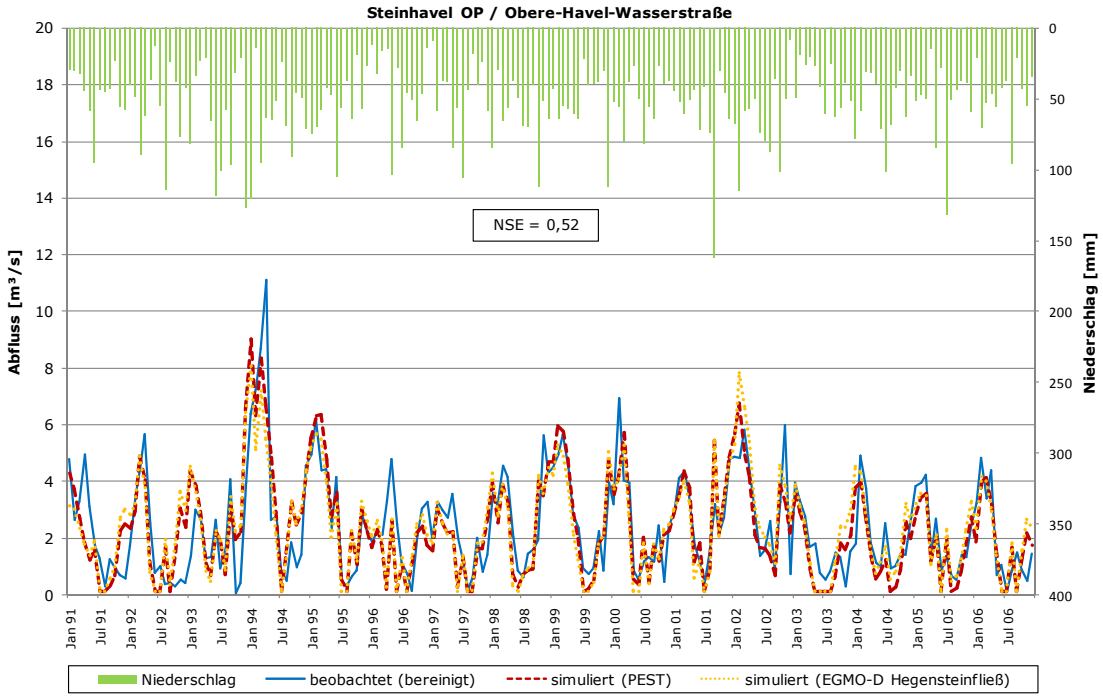


Abb. 8: Vergleich zwischen beobachteten und simulierten Durchflüssen bei der Verwendung übertragener Parametersätze für EGMO-D

4 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Untersuchung der Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung und des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Havel-Spree-Gebietes kommt ein Modellverbund mit folgenden Komponenten zur Anwendung:

> Für die stochastische Simulation meteorologischer Größen wird SIKO/SIMO verwendet, mit dem mehrdimensionale Autoregressionsmodelle für die verschiedenen zu betrachtenden Zeitabschnitte aufgestellt werden.

> Mit den sich ergebenden stochastischen meteorologischen Reihen werden natürliche Durchflüsse mit dem N-A-Modell EGMO-D erzeugt.

> Die summarischen Auswirkungen der zu definierenden Szenarien der Wasserbewirtschaftung und des Wasserbedarfs sowie des Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Havel-Spree-Gebietes werden mit den WBalMo Havel-Spree bewertet.

Für die hydrologische und die meteorologische Simulation wurden das prinzipielle Vorgehen und ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die für beide Teile des Modellverbundes erreichte Simulationsgüte bildet eine gute Grundlage für die Anwendung der Wasserbewirtschaftungsmodelle WBalMo Havel-Spree. Dafür sind Szenarien der Wasserbewirtschaftung und des Wasserbedarfs unter Nutzung von Untersuchungsergebnissen der Länder Sachsen, Brandenburg und Berlin, der Vattenfall Europe Mining AG sowie des BMBF-Projekts GLOWA Elbe zu erstellen. Die bisherige fachlich fokussierte Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde bietet dafür eine gute Grundlage.

Literatur

GLOS, E. (1984): Die Einzugsgebietsmodellversion EGMO-D für Durchflussberechnungen in Dekaden- bis Monatsschritten. Teilbericht zu LAUTERBACH, D. u.a.: ASU Spree, 1. Ausbaustufe. Forschungsbericht, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.

PEST (2010): Model-Independent Parameter Estimation and Uncertainty Analysis. Watermark Numerical Computing. Version 12.

SIKO/SIMO (2001): Benutzerhandbuch zu SIKO/SIMO, Version 3.1, Programm zur stochastischen Simulation. WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Dresden.

WASY (2000): ArcGRM Havel-2.Etappe: Entwicklung des Abflusssimulationsmodells. WASY GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburgs.

WASY (2001): ArcGRM Dosse/Jäglitz. WASY GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburgs.

Kontakt:
Dr.-Ing. Michael Kaltofen
DHI-WASY GmbH, Niederlassung Dresden
Comeniusstr. 109, 01309 Dresden
Tel.: 0351/ 3143 8311
Fax: 0351/ 3161 612
E-Mail: M.Kaltofen@dhi-wasy.de

Berliner Gewässer: Modellierung des Einflusses von Bewirtschaftung und Klimawandel auf die Gewässergüte

Erste Modellrechnungen zur Temperatursensitivität staugeregelter Gewässer

Annette Becker, Paulin Hardenbicker und Helmut Fischer

Problemstellung

Das Modellgebiet der Berliner Gewässer umfasst ein komplexes Wasserstraßennetz (Abb. 1), das durch Stauregulierung, niedrige Fließgeschwindigkeiten und hohe Nährstofffrachten geprägt wird.

Abb. 1: Modellgebiet Berliner Gewässer, gelb hinterlegt: Potsdamer Havel (PHv)

Im dicht besiedelten Berliner Raum werden Wasserstraßen und Flussseen zu vielen Zwecken genutzt, etwa zur Aufnahme von Abwässern und Kühlwässern, als Schifffahrtsstraße und Badegewässer, aber auch zur Gewinnung von Trinkwasser aus Uferfiltrat. Für die Gewässergüte stellen die im westlichen Stadtgebiet gehäuft auftretenden Mischwassereinleitungen (MATZINGER et al. 2011) eine besondere Herausforderung dar.

Im späten Sommer kommt es an Havel und Spree regelmäßig zu Blaualgenblüten (Abb. 2), gelegentlich treten Sauerstoffdefizite auf, die Fischsterben zur Folge haben können. Die Sommermonate gehen mit einem knappen Wasserdargebot einher, das Nutzungseinschränkungen zur Folge haben kann (BERGFELD et al. 2005, FINKE et al. 2007). Dem wird mit der Bewirtschaftung der Abflüsse entgegengesteuert.

Abb. 2: Blaualgenblüte an der PHv im Jahr 2009

Aufgrund des Klimawandels werden Veränderungen im Abfluss- und Temperaturregime erwartet, die eine Verschärfung der Güteproblematik befürchten lassen (LOTZE-CAMPEN et al. 2009). Zur Versachlichung der oft politisch geführten Diskussion zu möglichen Folgen des Klimawandels werden weitere, fundierte wissenschaftliche Untersuchungen benötigt.

Im Modellgebiet werden typische saisonale Muster von Gewässergüteparametern gefunden. Beispielhaft wird dies mit Daten für die Flusshavel (UHW-km 32 - 54, oberhalb Brandenburg) gezeigt (Abb. 3): Neben stark ausgeprägten Saisonalitäten bei Nitrat (Minimum im Sommer), ortho-Phosphat (Maximum im Spätsommer), Sauerstoff (drastischer Abfall und Minimum im Mai) und Chlorophyll a (Frühjahrs- und Sommerpeak) wird auch ein langfristiger Trend hin zu geringeren Nährstoffkonzentrationen deutlich.

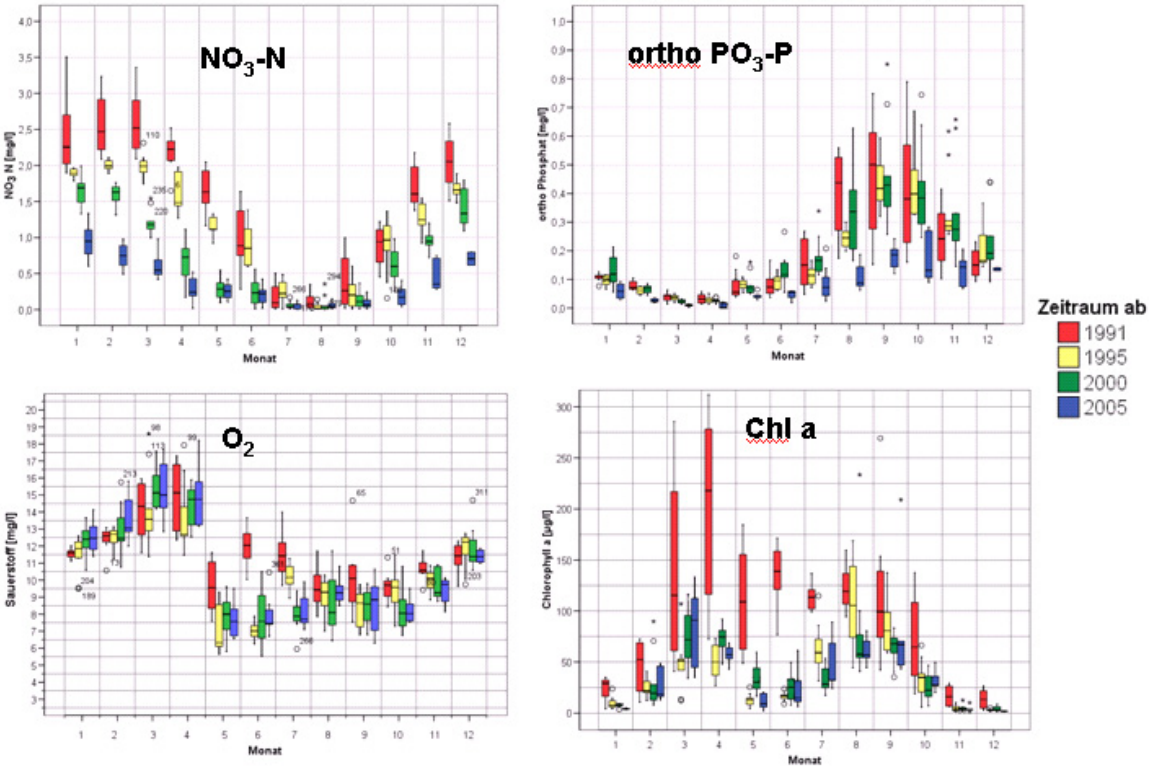


Abb. 3: Verteilungen der Gütemesswerte Nitrat [mg/l], ortho-P [mg/l], Sauerstoff [mg/l] und Chlorophyll a [µg/l] in Ketzin und Brandenburg im Jahresverlauf (Monatsmittel auf x-Achse) und in verschiedenen Zeiträumen (1991 - 1994: rot, 1995 - 1999: gelb, 2000 - 2004: grün, 2005 - 2008: blau), Daten: LUA Brandenburg

Im Längsverlauf der ca. 30 km langen Flussseenkette der Potsdamer Havel (PHv) bilden sich die an der Flusshavel beobachteten saisonalen Muster im Fließverlauf aus. Bezüglich Chlorophyll a und Sauerstoff sind jedoch Maxima im mittleren Bereich der Flussseen zu beobachten (BECKER & BERGFELD 2006). Der räumlichen Verteilung der Gütegrößen muss also eine besondere Beachtung geschenkt werden, es kann nicht erwartet werden, dass sie sich linear verhält.

Des Weiteren treten in den Flussseen, wie am Beispiel des Schwielowsees im Jahr 2010 gezeigt (Abb. 4), zeitlich mehr oder weniger befristete Temperaturschichtungen auf, in deren Folge sich deutliche Stoffgradienten in der Wassersäule ausbilden.

Abbildung 5

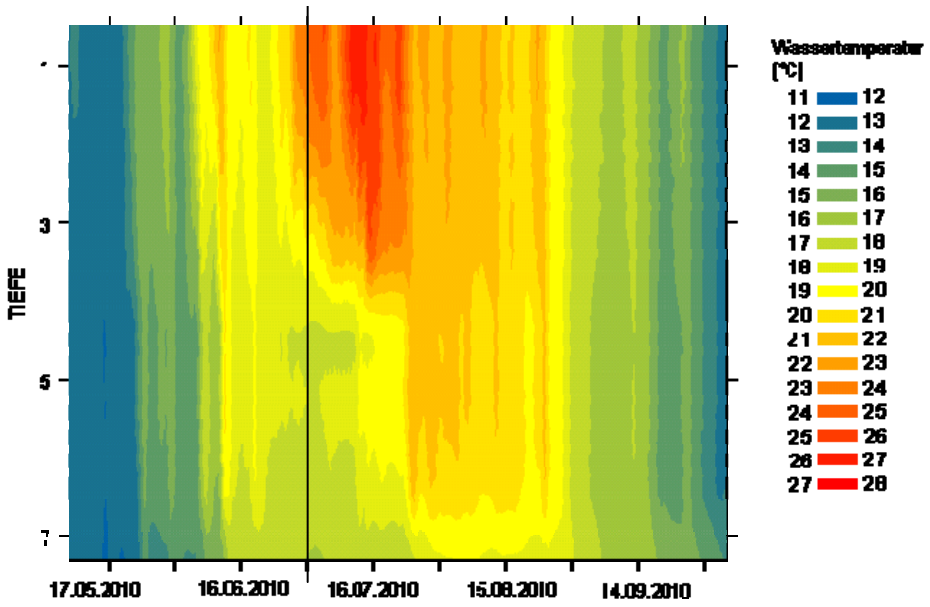


Abb. 4: Temperaturschichtung im Schwielowsee (PHv-km 16) im Jahr 2010

Mit der Temperaturschichtung gehen vertikale Gradienten im Sauerstoff und Chlorophyll a einher (Abb. 5). Sauerstoffmangel über Grund begünstigt die P-Freisetzung aus dem Sediment. Um diese Zusammenhänge besser zu verstehen und schließlich im Modell abbilden zu können, werden in Kooperation mit dem BMBF-Projekt NITROLIMIT 2011 - 2012 Untersuchungen an der Havel durchgeführt.

In Berliner Gewässern führen neben langfristigen Trends die ausgeprägten Saisonalitäten verschiedener Güteparameter und deren Taktung mit Abfluss, durch Längsgradienten und durch Tiefengradienten zu einem ausgesprochen komplexen und anthropogen stark geprägten Gewässernetz. Ein Systemverständnis kann deshalb ohne modelltechnische Werkzeuge nicht erreicht werden. Auch um mögliche zukünftig zu erwartende Änderungen durch Klimawandel und unterschiedliche Bewirtschaftungsoptionen auf die Gewässergüte abschätzen zu können, scheint die Verwendung eines prozessorientierten Gewässergütemodells geboten.

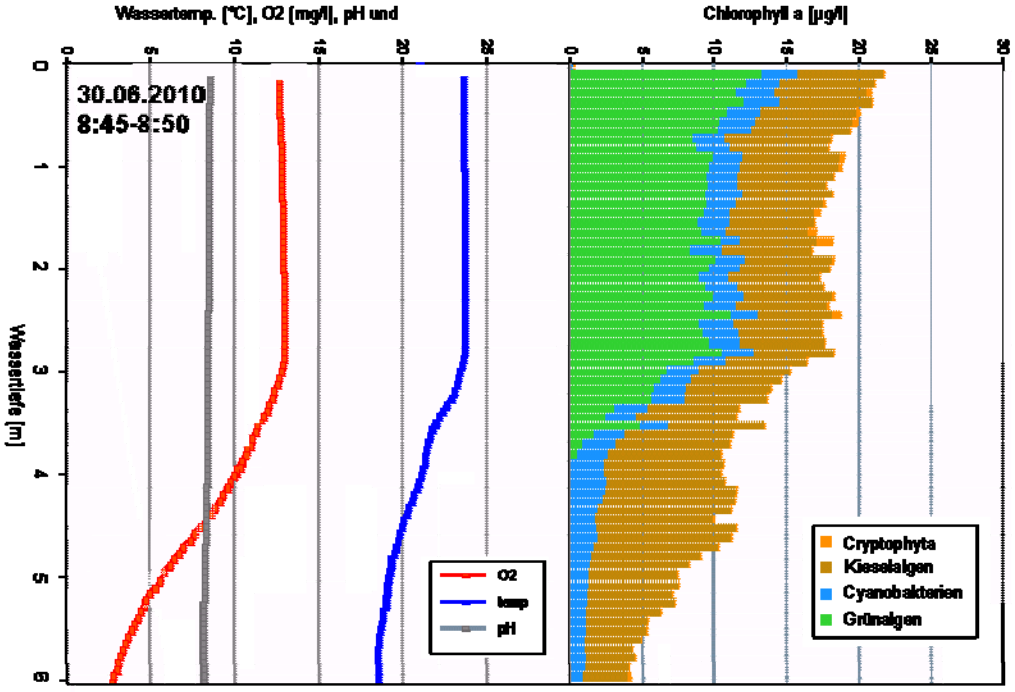


Abb. 5: Tiefengradienten im Schwielowsee am 30.06.2010. Links: Wassertemperatur, Sauerstoff und pH, rechts Chlorophyll a nach Algengruppen (Moldaenke Chlorophyllsonde)

Gewässergütemodell QSim

Das Gewässergütemodell QSim wird in der BfG seit mehr als 20 Jahren weiterentwickelt und angewandt, um den Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt sowie die Phyto- und Zooplanktonbiomasse in deutschen Wasserstraßen abzubilden (KIRCHESCH & SCHÖL 1999). QSim ist ein deterministisches, prozessorientiertes Modell, dessen ursprünglicher 1D Ansatz in jüngerer Zeit ergänzt wurde (Buhnen: SCHÖL et al. 2006; quasi-2D Ansatz zur Modellierung von Temperaturschichtung: BECKER et al. 2010).

Prozessmodule in QSim werden weiterentwickelt, um Prozesse in staugeregulierten Gewässern im Modell besser abbilden zu können.

Modellaufbau Berliner Gewässer

Im Auftrag des Wasserstraßen-Neubauamtes (WNA) Berlin wurde das Modell QSim Berlin aufgebaut, um ein Instrument zur Wirkungsanalyse möglicher Ausbaumaßnahmen auf die Gewässergüte bereitzustellen. Aus technischen Gründen wird es in zwei Abschnitte aufgeteilt: der erste beginnt an den Modellrändern Fürstenwalde (Spree), Neue Mühle (Dahme) und Borgsdorf (Havel). Die Wehre Schönwalde (Havelkanal), Spandau (Havel), Charlottenburg (Spree) und Kleinmachnow (Teltowkanal) bilden den unteren Modellrand des ersten und gleichzeitig den oberen Modellrand des zweiten Abschnittes. Das Modell umfasst insgesamt 60 Stränge und Knoten sowie ca. 360 Flusskilometer. Zusätzlich müssen noch ca. 50 Gewässernutzungen (Einleitungen und Entnahmen) berücksichtigt werden. Darüber hinaus wurden die Misch-wasserüberläufe des Gebietes in den Systemplan integriert (insgesamt ca.

200 - 260 Einleitstellen). Im Bereich der Havelseen werden derzeit noch ca. 20 Pumpwerke integriert.

Forschungsprogramm KLIWAS und Projekt 5.02

In dem Forschungsprogramm KLIWAS werden Auswirkungen der Bandbreite zukünftiger hydrologischer Zustände auf Schadstoffbelastung, Ökologie, Ökonomie und Schifffahrt abgeschätzt und Anpassungsoptionen entwickelt.

KLIWAS vertritt dabei den sogenannten Multimodellansatz, bei dem alle verfügbaren Klimamodelle verwendet werden, um die Bandbreite des zu erwartenden Klimasignals abzuschätzen. Es werden sogenannte Modellketten verwendet, die von weltweiten Emissionsszenarien ausgehen und jeweils durch ein globales und ein regionales Klimamodell ergänzt werden. Des Weiteren werden noch Verfahren der Bias-Korrektur und Modelle zur Berechnung der regionalen Hydrologie (Niederschlag-Abfluss-Modelle) verwendet (KRAHE et al. 2009). Um die zu erwartende Bandbreite auch mit einer geringen Zahl an Modellketten abbilden zu können, werden für problemorientiert ausgewählte Kennwerte (Gütemodellierung: NM7Q) und Gebietspegel diejenigen Ketten ausgewählt, die die Bandbreite des zu erwartenden Klimasignals abbilden.

Das KLIWAS Projekt 5.02 beschreibt klimabedingte Änderungen des Stoffhaushalts und der Planktonentwicklung (www.kliwas.de, Vorhaben - Projekte, Gewässerzustand Binnen, Projekt 5.02 Algen). Mit dem Gütemodell QSim werden Klimaprojektionen, Abfluss- und Stoffeintragsszenarien zusammengeführt, um den Einfluss des Klimawandels auf die Gewässergüte zu quantifizieren. Schließlich werden Managementoptionen entwickelt und getestet, um eventuellen negativen Tendenzen entgegenzusteuern. Die Klimaprojektionen und zukünftigen Gewässergüteszenarien werden auch verwendet, um die Auswirkung von Baumaßnahmen am Gewässer auf den Stoffhaushalt abzuschätzen. Modellgebiete sind neben den hier behandelten Berliner Gewässern auch Rhein und Elbe.

Das Projekt steht mit anderen aktuell laufenden Forschungsprojekten im Modellgebiet Berlin im Austausch, insbesondere besteht eine Zusammenarbeit mit dem BMBF-Projekt NITROLIMIT (www.nitrolimit.de).

Abbilden des Klimawandels im Gütemodell

Bei der Gewässergütemodellierung wird neben Wetterstationsdaten ein kompletter Datensatz zur Belegung aller Modellränder (Zeitreihen von Abflüssen und Güteparametern einschließlich Wassertemperaturen, Nährstoffen und Plankton) benötigt. Nur ein kleiner Teil der benötigten Daten kann von vorgeschalteten Modellen bereitgestellt werden. Da es ein erhebliches Artefaktpotenzial birgt, diese fehlenden Zeitreihen für projizierte Modelljahre zu rekonstruieren (sie müssen logisch kohärent sein), wird eine andere Strategie gewählt:

Ausgegangen wird von realen Jahren, für die möglichst komplette Eingangsdaten zur Gütemodellierung vorliegen. Diese werden in den Zusammenhang einer 30-jährigen Klimaperiode gemessener Klimawerte (1981 - 2010 = Güte-Referenzzeitraum) gestellt. Aus den KLIWAS-Modellketten werden für die nahe (2021 - 2050) und ferne Zukunft (2071 - 2100) jeweils zwei Projektionen ausgewählt, die die Bandbreite des zu erwartenden Klimasignals bezüglich

des Kennwertes NMQ7 repräsentieren. Zusätzlich wird eine „mittlere“ Modellkette (Emissionsszenario A1B, Globalmodell ECHAM5_r3, Regionalmodell REMO5.7) von allen Projekten verwendet, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.
Eine Übertragung des Klimawandelsignals auf die reellen Gütejahre erfolgt, indem die Werteverteilungen der klimasensitiven Größen (Globalstrahlung, Lufttemperatur, relative Feuchte, Bewölkung, Niederschlag, Wind und Abfluss) des Güte-Referenzzeitraumes jeweils denen des Projektionszeitraumes einer Modellkette gleichgesetzt werden[1] (Abb. 6). Schließlich werden die Jahre aus dem Referenzzeitraum, für die komplette Gütedatensätze vorliegen, jeweils mit Klima-modifizierten Eingaben (entsprechend einer Kette und eines Zeitraumes) modelliert.

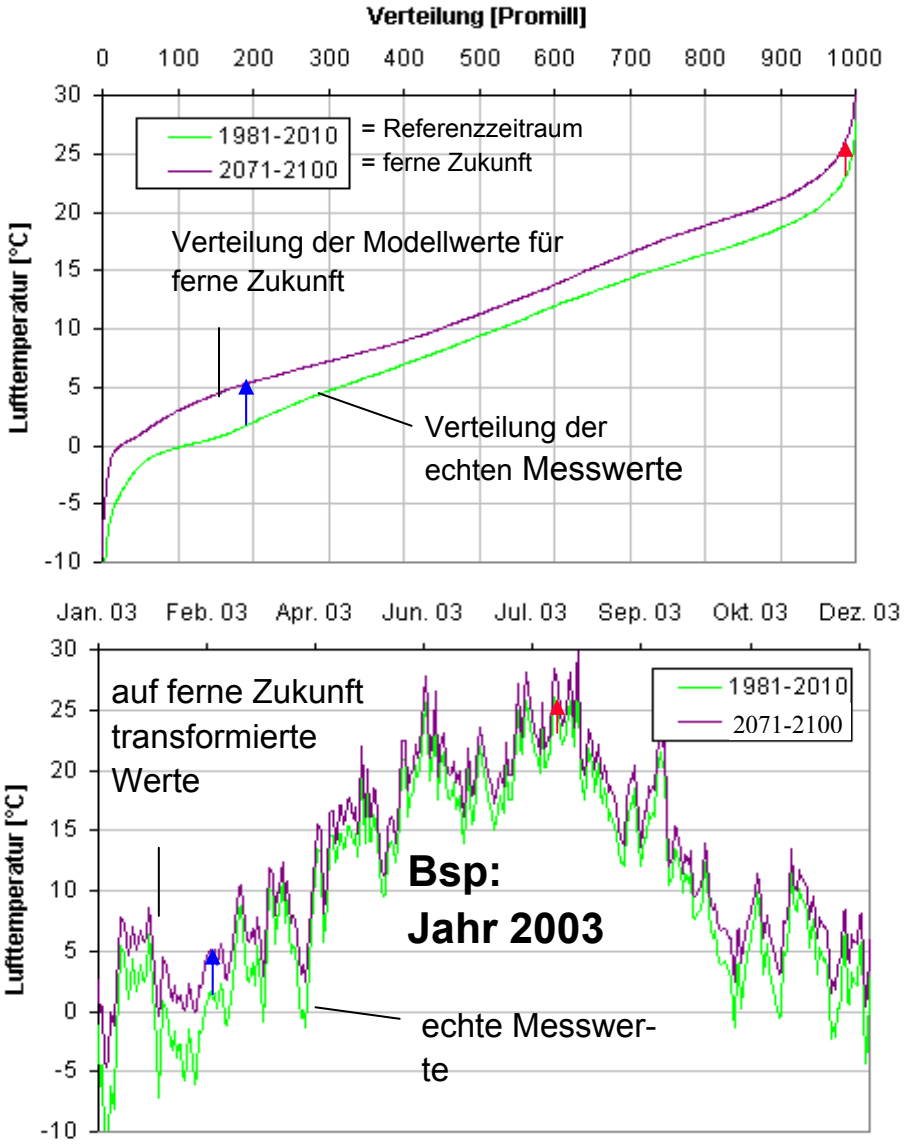


Abb. 6: Oben: Verteilung der Lufttemperaturen im Güte-Referenzzeitraum und ferner Zukunft (Echam5_r3 Remo5.7) für die Station Potsdam (Modellwerte: 5 km Rasterzellenwerte),

[1] in Anlehnung an das bei der bias-Korrektur von Klimaprojektionsdaten gebräuchliche „quantile-mapping“, vgl. MUDELSEE et al. (2010)

unten: Ergebnis aus der Übertragung der Verteilung aus dem Güte-Referenzzeitraum 1981 - 2010 in die ferne Zukunft auf das Jahr 2003 angewandt

Erste Modellergebnisse

Bei der Modellierung zukünftiger Abflüsse sollen die zu erwartenden Management-Einflüsse aus dem Modell WBalMo berücksichtigt werden, denn eine Modellierung mit dem natürlicherweise zu erwartenden Wasserdargebot wäre wegen der starken anthropogenen Überprägung der Abflussverhältnisse höchstens von akademischem Interesse.

Da Modellweiterentwicklungen und gemanagte Abflüsse für Klimaprojektionen noch nicht vorliegen, wurde zunächst für einen Teil des Modellgebietes (Flusshavel, UHW-km 32 - 54) die Sensitivität der Gewässergüte auf das Kimawandelsignal der mittleren Modellkette (ECHAM5_r3 REMO5.7, Testdaten für 5 km Rasterzelle Potsdam) mit den unveränderten Abflüssen ermittelt (Abb. 7).

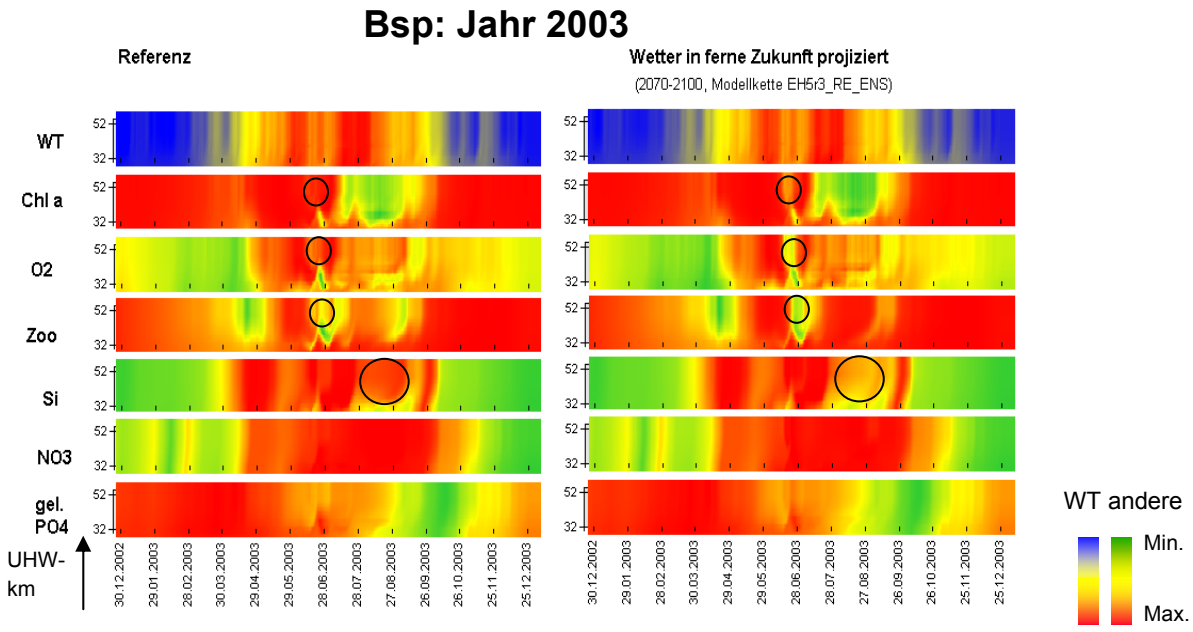


Abb. 7: QSim Modellergebnisse für das Jahr 2003 mit Referenzdaten bzw. in die ferne Zukunft projiziertem Wetter, y-Skala: UHW-km 32 - 54 (oberer - unterer Modellrand), WT: Wassertemperatur °C, Chl a: Chlorophyll a µg/l, O2: Sauerstoff mg/l, Zoo: Rotatorienäquivalente Ind./l, Si: gel. Silizium mg/l, NO3: Nitrat-N mg/l, gel. PO4: gelöstes Phospat-P mg/l

Wie auch die Kennwerte der Verteilungen der Gewässergütegrößen für die Modelljahre 2000 - 2008 zeigen, wird die Temperatursensitivität weniger in den mittleren Wertebereichen, sondern vielmehr bei den Extrema deutlich (Tabelle 1).

Die bisherigen Modellergebnisse lassen eine Steigerung des Algenwachstums bei Spitzenwerten erwarten. Dabei sind wegen der verschiedenen Temperaturoptima der modellierten drei Algengruppen (Kieselalgen, Grünalgen, Blaualgen) Verschiebungen der Zusammensetzung des Phytoplanktons zu erwarten (hier nicht gezeigt). Die modellierten Maxima des Zoo-

planktons sind bei höheren Wassertemperaturen eher geringer ausgeprägt. Die Sauerstoffkonzentrationen liegen bei höheren Wassertemperaturen (vgl. Abb. 6) insgesamt leicht niedriger, was teilweise auf die geringere physikalische Löslichkeit des Sauerstoffs bei höheren Temperaturen zurückgeführt werden kann.

Tabelle 1
Temperatursensitivität bei Gewässergütemodellierung für Flusshavel (Jahre 2000 - 2008), erste vorläufige Modellergebnisse unter Verwendung von ECHAM5_r3 REMO5.7 Modellkette

Veränderung ferne Zukunft [% Referenz]
> 10%
5% bis 10%
-5% bis +5%
-5% bis -10%
<-10%

Parameter	Bezugs-Zeitraum	Mittelwert	50 Perzentil	75 Perzentil (O2: 25 P.)	90 Perzentil (O2: 10 P.)	Maximum (O2: Min.)
Chlorophyll a [µg/l]	Referenz	36.21	26.49	61.40	86.94	274.94
	ferne Zukunft	36.89	24.89	61.36	119.91	321.88
Zooplankton-dichte [Ind./l]	Referenz	1402.26	921.45	2365.53	2964.45	8831.80
	ferne Zukunft	1272.13	876.75	2229.93	2968.95	7469.10
Sauerstoffgehalt [mg/l]	Referenz	10.18	8.85	7.82	5.80	3.44
	ferne Zukunft	9.69	9.00	7.32	5.39	3.24
Wassertemperatur [°C]	Referenz	11.11	11.62	17.80	20.14	26.61
	ferne Zukunft	13.21	13.07	19.66	22.23	29.97

Bei Modellrechnungen für größere Modellgebiete, bei denen die Verweilzeit im System insgesamt größer ist (Fließzeit bei MQ: Flusshavel: ca. 4 Tage, Stauhaltung Brandenburg: ca. 50 Tage von Charlottenburg über PHv bis Brandenburg), ist damit zu rechnen, dass sich klimabedingte Veränderungen potenziell stärker ausprägen. Die prinzipielle Temperatursensitivität wurde hier für einen Abschnitt des Modellgebietes gezeigt. Von Modellierungen an der Elbe ist bekannt, dass die Gewässergüte sensitiv auf Abflussänderungen reagiert: Bei niedrigen Abflüssen verschieben sich Phytoplanktonmaxima stromauf und werden ausgeprägter (QUIEL et al. 2010).

Erste Sensitivitätsstudien mit modifizierten Abflüssen[2] für das Modellgebiet Flusshavel zeigen, dass Güteparameter sensitiv auf Veränderungen sehr niedriger Abflüsse reagieren, während die Sensitivität bei hohen Abflüssen gering ist. Die Auswirkungen von Temperatur- und Abflussveränderungen auf das Phytoplankton und den Sauerstoffhaushalt könnten sich also im Sommer bei niedrigeren Abflüssen gegenseitig verstärken.

Durch das Abflussmanagement ist im Raum Berlin – unabhängig vom Klimawandel – eher mit einer langfristigen Erhöhung der sommerlichen Niedrigwasserabflüsse zu rechnen (FINKE et al. 2007). Das Ergebnis der derzeit laufenden Modellierung der gemanagten Abflüsse unter Klimawandelbedingungen wird zeigen, ob im Raum Berlin in der Zukunft in Summe eher niedrigere oder höhere Niedrigwasserabflüsse zu erwarten sind.

Bis Ende 2013 werden für das Modellgebiet Berlin mit den hier dargestellten Techniken Modellierungen der Gewässergüte für die Bandbreite des zu erwartende Klimasignals – unter Berücksichtigung des Abflussmanagements – durchgeführt. Die Ergebnisse werden zeigen,

[2] rein hypothetisch: Verringerung des Abflusses im Sommer, Erhöhung im Winter, wie vielerorts aufgrund des Klimawandels erwartet (Änderung prozentual in Anlehnung an durch Klimawandel veränderte Abflüsse in Mosel)

ob gemanagte Abflüsse und andere Nutzungsänderungen die durch Klimawandel erwarteten Temperatureffekte auf die Gewässergüte insgesamt eher kompensieren oder verstärken, und wie die Bandbreite der zu erwartenden Gewässergüte-Änderungen modellhaft abgeschätzt wird.

Literatur:

BECKER, A., T. BERGFELD (2006): Bericht zu den BfG-Bereisungen der Potsdamer Havel im Jahr 2005, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1486, 75 S.

BECKER, A., V. KIRCHESCH, H. BAUMERT, H. FISCHER, A. SCHÖL (2010): Modelling the effects of thermal stratification on the oxygen budget of an impounded river. River Research and Applications. 26. 572 - 588.

BERGFELD, T., STRUBE, V. KIRCHESCH (2005):Auswirkungen des globalen Wandels auf die Gewässergüte im Berliner Gewässernetz. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Weißensee Verlag, Berlin, S. 357 - 368

FINKE, W., S. KRAUSE, R. OPPERMANN, J. KLÜSSENDORF-MEDIGER (2007): Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1560, 5. Fassung, 107 S. + Anhang.

KIRCHESCH, V., A. SCHÖL (1999). Das Gewässergütemodell QSim – Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktondynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 43, Heft 6, S. 302 - 309.

KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOB, H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 53, Heft 5, S. 316 - 331.

LOTZE-CAMPEN, H., L. CLAUSSEN, A. DOSCH, S. NOLEPPA, J. ROCK J. SCHULER, G. UCKERT (2009): Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin, PIK Report No. 113, http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr113 (letzter Zugriff: 26.01.2012)

MATZINGER, A., M. RIECHEL, P. ROUAULT, S. O. PETERSEN, E. PAWLOWSKY-REUSING, B. HEINZMANN (2011): Impact based management of combined sewer overflows – Introduction to a flexible planning instrument. In: bluefacts 2011, S. 30 - 37, http://www.wvgw.de/dyn_pdf/bluefacts2011/ (letzter Zugriff: 26.01.2012)

MUDELSEE, M., D. CHIRILA, T. DEUTSCHLÄNDER, C. DÖRING, J. HAERTER, S. HAGEMANN, H. HOFFMANN, D. JACOB, P. KRAHE, G. LOHMANN, C. MOSELEY, E. NILSON, O. PANFEROV, T. RATH, B. TINZ (2010): Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie. Mitteilungen Deutsche Meteorologische Gesellschaft 03/2010, S. 2 - 7. http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2010_3.pdf, (letzter Zugriff 26.01.2012)

QUIEL, K., A. BECKER, V. KIRCHESCH, A. SCHÖL, H. FISCHER (2010): Influence of global change on phytoplankton and nutrient cycling in the Elbe River. Regional Environmental Change, DOI: 10.1007/s10113-010-0152-2.

SCHÖL, A., R. EIDNER, M. BÖHME, V. KIRCHESCH (2006): Einfluss der Buhnenfelder auf die Wasserbeschaffenheit der Mittleren Elbe. – In: Pusch, M. und Fischer, H. (Hrsg.) (2006): Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißensee Verlag, Berlin, ISBN 3-89998-011-5, S. 243 - 263.

Kontakt:
Dr. Annette Becker
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5520
Fax: 0261/ 1306 5333
E-Mail: becker@bafg.de

Wasserüberleitung vom Donau- ins Maineinzugsgebiet

Thomas Liepold

Vorstellung Fränkisches Seenland, Überleitung Donau-Main

> Der Freistaat Bayern hat zwischen 1970 und 2000 südlich von Nürnberg drei Talsperren gebaut: Altmühlsee, Brombachsee und Rothsee.

> Aufgaben der Talsperren:

Niedrigwasseraufhöhung der nordbayerischen Flüsse durch die Überleitung von Wasser aus dem Donau-Einzugsgebiet in das Rhein-Main-Einzugsgebiet (Überleitung Donau-Main).

Hochwasserschutz im mittleren Altmühltal durch das Abfangen von Hochwasser der Altmühl im Altmühlsee und Speicherung dieses Hochwassers im Brombachsee.

Strukturverbesserung durch Schaffung einer attraktiven Naherholungs- und Urlaubsregion. Die touristische Nutzung des Fränkischen Seenlandes steht heute im Vordergrund gegenüber den wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen.

Steuerung: Organisation

> Nach der Auflösung des Talsperren-Neubauamts Nürnberg im Jahr 2000 ist der Betrieb der Überleitung Donau-Main beim Wasserwirtschaftsamt Ansbach angesiedelt.

> Die zentrale Betriebsleitung in Gunzenhausen am Altmühlsee überwacht und steuert die Wasserüberleitung mit einer Fernwirkanlage der Firma IDS, System HIGHLIGHT NT.

> Die Steuerung der Pumpwerke am Main-Donau-Kanal liegt in den Händen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. Örtlich zuständig ist die Betriebszentrale Gösselthalmühle.

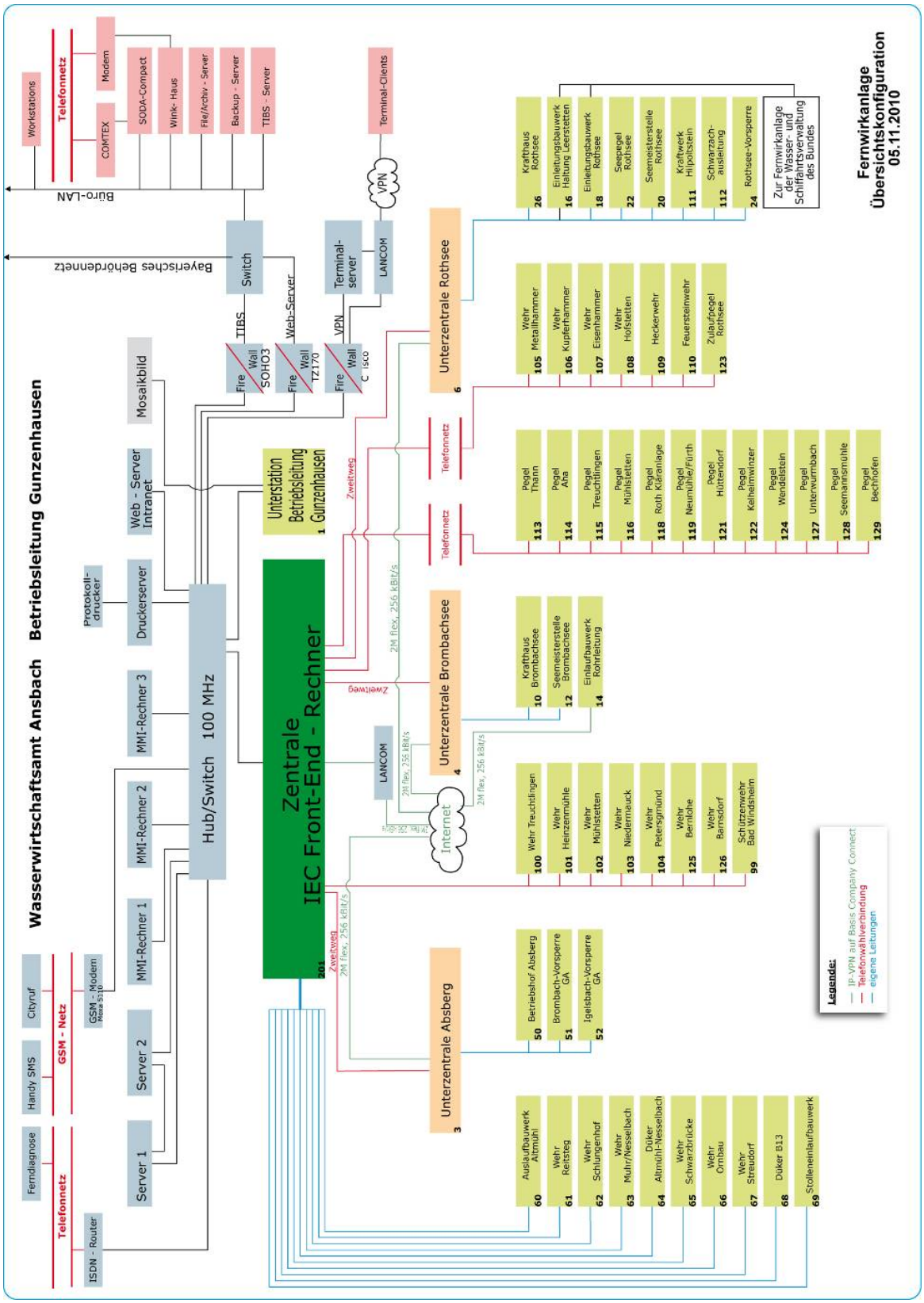


Abb. 1: Übersichtskonfiguration Fernwirkanlage (Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

Steuerung: Vorgaben und Randbedingungen

> Niedrigwasseraufhöhung
Zielvorgabe ist ein Mindestabfluss in der Regnitz, gemessen am Pegel Hüttendorf nördlich von Nürnberg.
Restriktion: Bei Unterschreitung eines Mindestabflusses in der Donau bei Kelheim darf aus Altmühl und Donau kein Wasser entnommen werden.

> Hochwassersteuerung
Vorrangiges Ziel ist es, die Überflutung landwirtschaftlicher Flächen im mittleren Altmühltal im Sommer zu vermeiden. Bei großen Hochwassern soll die Spitze gebrochen werden, um Schäden in Siedlungsbereichen zu vermeiden oder zu verringern. Steuerung nach Pegeln in der Altmühl oberhalb des Altmühlsees, der Niederschlagsvorhersage und dem verbleibenden Stauraum in Altmühlsee und Brombachsee.

Abb. 2: Schema der Überleitung Donau-Main (Wasserwirtschaftsamt Ansbach)

> Tourismus
Im Sommer sollen die Talsperren möglichst gefüllt sein. Ein Mindestwasserstand für den Großen Brombachsee und den Altmühlsee ist in der Betriebsgenehmigung vorgegeben. Probleme mit der Personenschifffahrt und Segelbooten sollen damit vermieden werden.
Restriktion: Die Wasserentnahme aus der Altmühl in den Altmühlsee ist erst ab einem Mindestabfluss in der Altmühl zulässig.

> Abstimmung mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
Unsere Wasserabgabe aus den Talsperren wird mit der Abgabe von Wasserüberschüssen aus dem Betrieb des Main-Donau-Kanals in die nordbayerischen Flüsse abgestimmt. Insbesondere Pannen beim Betrieb des Kanals wie dem Ausfall von Sparschleusen oder Pumpen haben gravierende, teil sehr kurzfristige Auswirkungen auf den Wasserbedarf der Überleitung.

> Naturschutz
Jeden Winter muss, wenn möglich, mindestens ein Hochwasser im Altmühltal unterhalb des Altmühlsees ablaufen, um den Überflutungscharakter des Tales zu erhalten.
Zum Ende des Winters sind Wiesenbrüterflächen nahe des Altmühlsee zu überfluten.
Im Spätwinter müssen wir ein künstliches Hochwasser im Brombach unterhalb des Brombachsees ablaufen lassen.
Während der Brutzeit im Naturschutzgebiet Vogelinsel sollte der Wasserspiegel im Altmühlsee nur geringfügig schwanken, um nicht die Nester zu überfluten.

> Wasserkraftnutzung
Wir haben drei, künftig sechs, eigene Kraftwerke. Ein möglichst großer Teil der Wasserabgabe aus den Fränkischen Seen soll durch die Turbinen unserer Wasserkraftwerke laufen. Energetisch nur teilweise nutzbare große Wasserabgaben aus den Talsperren sollen deshalb möglichst gering gehalten werden.
Ein großes Gaskraftwerk in Nürnberg und das Atomkraftwerk Grafenrheinfeld bei Schweinfurt entnehmen der Rednitz bzw. dem Main große Mengen Kühlwasser. Insbesondere in sommerlichen und herbstlichen Niedrigwasserzeiten sollen wir für eine ausreichende Wasserführung in diesen Flüssen sorgen.

> In der Rothsee-Vorsperre wird im Frühjahr das Geländer einer Behindertenrampe montiert und im Herbst wieder ausgebaut. Dafür ist zweimal im Jahr der Wasserspiegel abzusenken.

> Bei Baumaßnahmen in den Speichern, zum Beispiel Uferschutzmaßnahmen, dem Einbau von Sliprampen, der Erneuerung von Stegen etc. ist der Wasserspiegel zu senken.

> Auch bei Baumaßnahmen Dritter in den Flüssen unterhalb der Talsperren reduzieren wir nach Möglichkeit die Wasserabgabe aus den Talsperren oder fahren diese bis auf die Mindestabgabe zurück.

> Für das Einsetzen des Personenschiffs in den Altmühlsee im Frühjahr bzw. zur Entnahme des Schiffes im Spätherbst ist ein Mindestwasserstand im See notwendig.

Abb. 3: Rothsee mit Main-Donau-Kanal im Vordergrund
(Hajo Dietz Fotografie, Nürnberg Luftbild)

Abb. 4: Brombachsee mit den Vorsperren Kleiner Brombachsee und Igelsbachsee
(Hajo Dietz Fotografie, Nürnberg Luftbild)

Einsatz von Wasserbewirtschaftungsmodellen

> Die Überleitung Donau-Main über das Fränkische Seenland wird ohne Modelle gesteuert.

> Die Bundesanstalt für Gewässerkunde war vom damaligen Talsperren-Neubauamt Nürnberg beauftragt, ein Abflussvorhersagemodell für die Altmühl beim Einlauf in den Altmühlsee zu entwickeln. Herr Dr. Wilke hat dieses Projekt Anfang/Mitte der 1990er-Jahre bearbeitet. Trotz einigem Aufwand ist das Vorhaben nach mehreren Jahren durchwachsener Entwicklung im Sand verlaufen. Einen Abschlussbericht oder ein fertiges Gutachten gibt es nicht.
> Das Modell wurde im praktischen Betrieb getestet. Brauchbare Ergebnisse konnten nicht erzielt werden.

> Die Überleitung Donau-Main wird nach unserer Betriebsvorschrift und der Dienstanweisung gesteuert.

> Unersetzbar sind dabei Erfahrung und Fingerspitzengefühl der Betriebsleitung. Angesichts der Abhängigkeit vom Wettergeschehen und dessen Unwägbarkeit manchmal auch etwas Glück!

> Derzeit erstellt die Universität München ein Modell zur Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserbedarf und das Wasserdargebot im Bereich der Überleitung. Trotz erheblichem Aufwand sind die bisherigen Erkenntnisse angesichts ihrer Unschärfe eher ernüchternd.

> Fazit
> Die modellgestützte Steuerung sehr komplexer Systeme erscheint immer noch sehr problematisch!
> Für den Betrieb der Überleitung Donau-Main im Fränkischen Seenland gibt es für die Steuerung „von Hand“ nach unserer Erkenntnis derzeit noch keine Alternative. In knapp 20 Jahren Betrieb sind wir damit gut gefahren.

Kontakt:
Thomas Liepold
Wasserwirtschaftsamt Ansbach
Seestraße 15
91710 Gunzenhausen
Tel.: 09831/ 6777 301
E-Mail: Thomas.Liepold@wwa-an.bayern.de

Bewirtschaftung der Müritz-Elde-Wasserstraße und der Störwasserstraße

Silke Schreier

1 Einleitung

Die Müritz-Elde-Wasserstraße mit den Mecklenburger Oberseen und dem Schweriner See hat mit einem Gesamteinzugsgebiet von 2887 km² für die Landwirtschaft, den Tourismus, den Naturschutz, die Energiegewinnung und die Schifffahrt in Mecklenburg-Vorpommern nicht nur flächenmäßig einen besonderen Stellenwert. Die Mecklenburger Oberseen und der Schweriner See sind Speicherräume, die die Versorgung mit Wasser für 20.600 ha, d. h. mehr als 70 % der Fläche des Landkreises Ludwigslust, für 8 Wasserkraftwerke, 17 Schleusen elbwärts und ca. 749 ha fischereilich genutzter Teichflächen in der Lewitz sichern sollen.

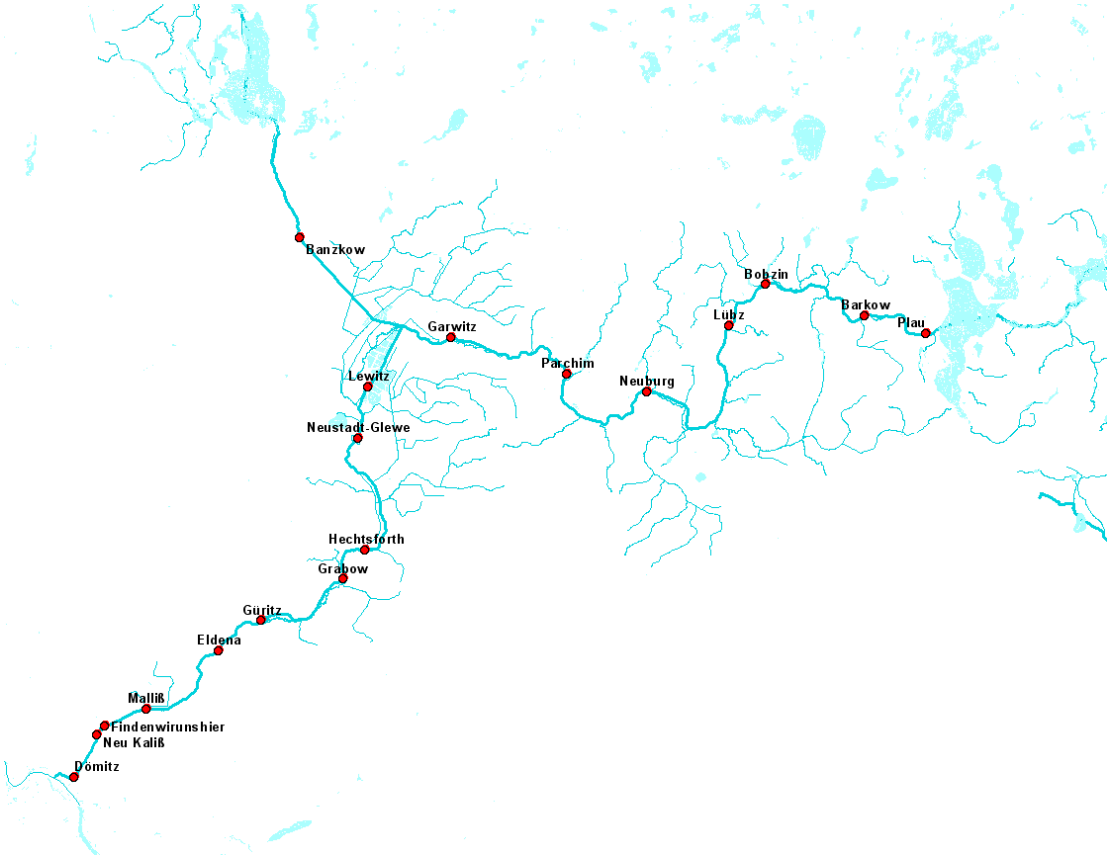


Abb. 1: Lageplan der Staustufen im Bewirtschaftungsgebiet (Umweltplan GmbH 2009)

Dieses Wasser muss über 27 (31) größere Wehr- bzw. Entlastungsbauwerke und 57 derzeit aktive, kleinere Entnahmebauwerke unmittelbar in der Wasserstraße weitergeleitet bzw. aus dieser abgezweigt werden und dann über eine Vielzahl weiterer Stauanlagen in der Fläche verteilt werden.

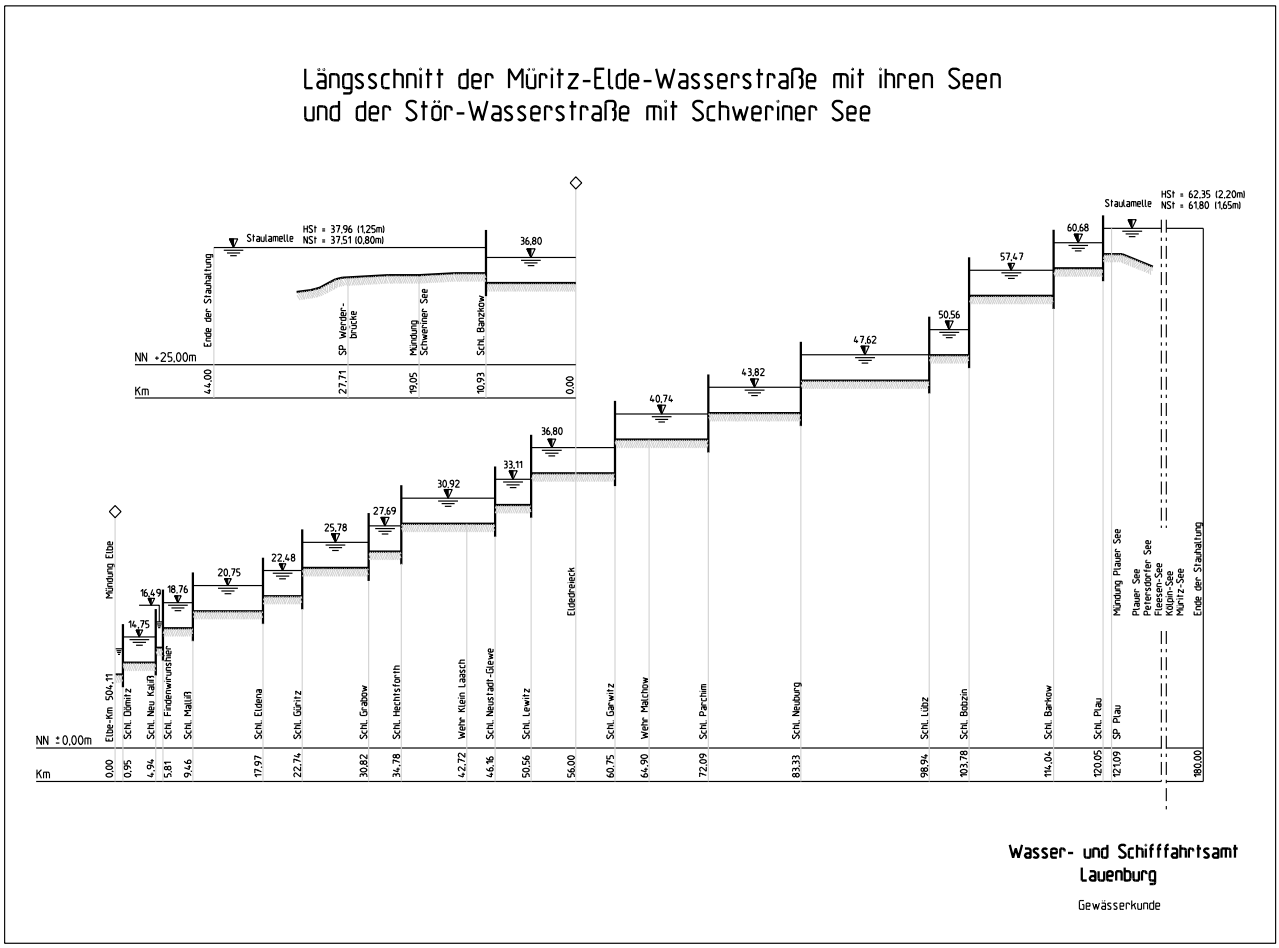


Abb. 2: Längsschnitt der Müritz-Elde-Wasserstraße und der Störwasserstraße (WSA Lauenburg)

Allein diese Dimensionen stellen an die zuständigen Behörden die Frage nach einer bedarfsgerechten und risikobewussten Verteilung der Ressource Wasser unter Berücksichtigung der Umweltbelange, der gesetzlichen Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes und der unterschiedlichen Ansprüche der Wassernutzer und Anlieger.

2 Ausgangssituation

Die Mecklenburger Oberseen haben bei Mittelwasser eine Gesamtfläche von rd. 203 km². Das Niederschlagsgebiet der Oberseen hat eine Größe von 1230 km², wobei neben den Niederschlagsmengen noch die Zuflüsse entlang der rd. 305 km langen Uferlinie das Wasserdargebot beeinflussen.

Der Hauptzufluss ist die Elde mit einem mittleren Dargebot von 0,8 m³/s, die Abflussregulierung erfolgt über das Wehr Mirow bzw. den Rohrdurchlass in Bolt in Richtung Havel und dem natürlichen Abfluss der Elde folgend über das Wehr Plau und die nachfolgenden 15 Staustufen in Richtung Elbe.

Die Müritz, als größter der 23 Einzelseen, hat eine Länge von 29 km und eine maximale Breite von 13 km. Zusammen mit dem Malchower, dem Jabelschen-, dem Fleesen-, dem Kölpin- und dem Plauer See haben die Oberseen bei einer derzeitigen Staulamelle von 55 cm ein Speichervolumen von ca. 110 Mio m³.

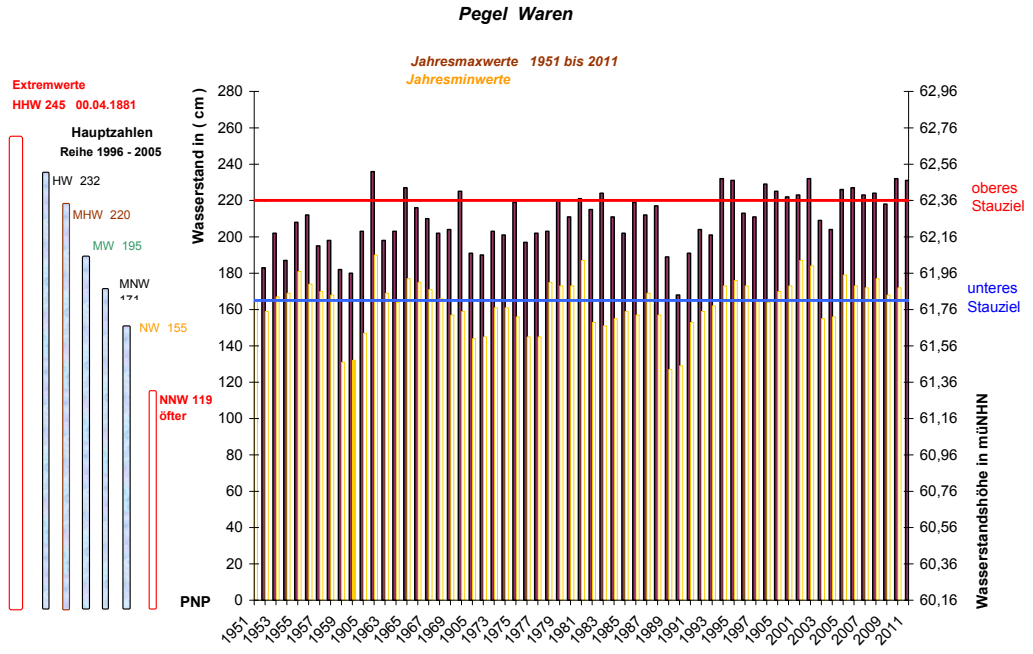


Abb. 3: Pegel Waren Jahresmaxwerte 1951 bis 2011 (WSA Lauenburg)

Der Schweriner See mit 65,4 km² Oberfläche beinhaltet bei einer Staulamelle von 45 cm noch ein Speichervolumen von ca. 29 Mio m³.

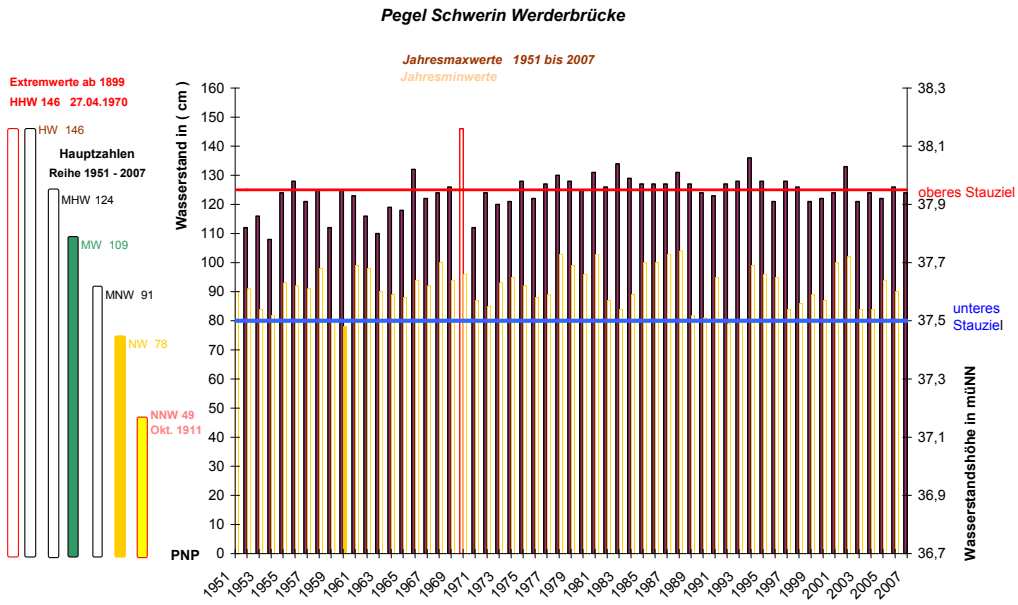


Abb. 4: Pegel Schwerin, Werderbrücke Jahresmaxwerte 1951 bis 2007 (WSA Lauenburg)

Für beide Speicher werden in der Anstauperiode von Oktober bis April auf der Grundlage eines GRM-Modells monatsvariable Stauziele vorgegeben, die einerseits eine möglichst vollständige Speicherfüllung im April anstreben, andererseits eine Überschreitung des Stauzieles aufgrund der begrenzten Abführungskapazitäten mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen. Die Abgabeperiode von Mai bis September muss unter der Maßgabe gestaltet werden, dass das untere Stauziel bis Ende September nicht unterschritten wird.

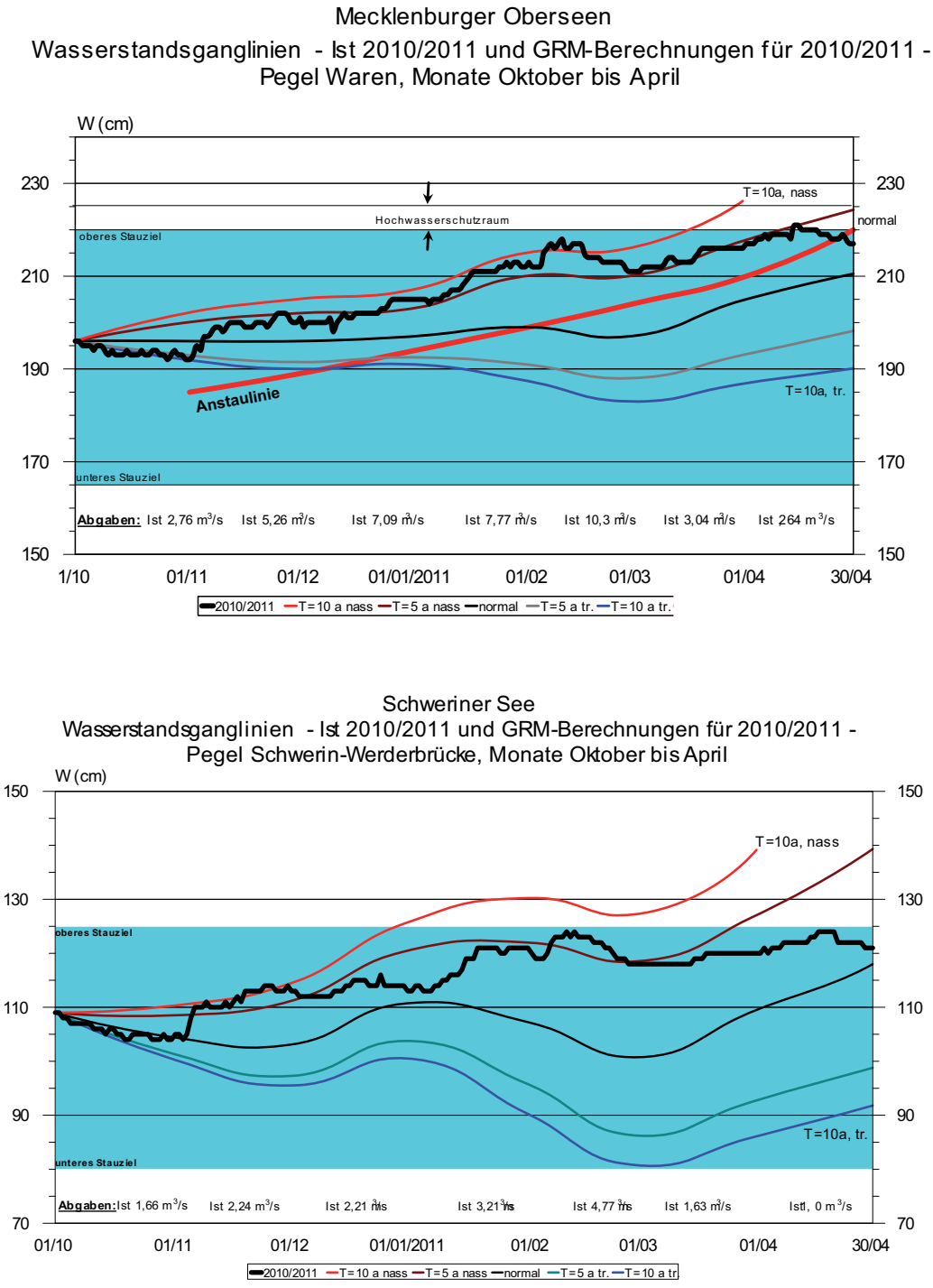


Abb. 5: Wasserstandsganglinie Mecklenburger Oberseen und GRM Berechnung 2010/2011 (LUNG Güstrow)

Bereits über einen Rezess aus dem Jahr 1789 und nachfolgend 1887 bestand zwischen Preußen und Mecklenburg eine Vereinbarung über die Abgabemengen in Richtung Havel.

Die Überwachung oblag damals dem Wasserbauamt im Innenministerium in Schwerin und nachfolgend dem Wasserstraßenamt, dann bis zur Wiedervereinigung der Wasserwirtschaftsdirektion mittlere Elbe-Sude-Elde in Magdeburg. Mit dem Einigungsvertrag sind die Mecklenburger Oberseen als Teil der Müritz-Elde-Wasserstraße als Bundeswasserstraßen mit ihren dazugehörigen Steuergliedern im Eigentum des Bundes. Offen waren bzw. teilweise sind es noch die erforderlichen wasserrechtlichen Regelungen zu den Entnahmebauwerken in den einzelnen Haltungen.

Im Zuge der Umsetzung der Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie und des Wasserhaushaltsgesetzes gilt es nunmehr einen Bewirtschaftungsplan für die Müritz-Elde- und die Müritz-Havel-Wasserstraße aufzustellen, der sowohl die erforderlichen Mindestabflüsse und die Nutzungsansprüche unterhalb der Seen, als auch die mit der Ausschöpfung des Hochwasserschutzraumes verbundenen Hochwasserrisiken berücksichtigt.

3 Herangehensweise

Für die Aufstellung eines Bewirtschaftungsplanes waren neben der Erhebung und Bewertung vorhandener wasserwirtschaftlicher Daten auch Nutzungsdaten, insbesondere von der durch die Wende stark veränderten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der Umlandflächen und der beabsichtigten Veränderungen in der Flächen- und damit auch Vorflutnutzung insgesamt zu erheben.

Dies wurde über die Einberufung zweier Facharbeitsgruppen („Wasserrecht“ und „Hydrologie“) durch das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt unter Beteiligung der Landwirtschaft, der Wasser- und Bodenverbände, des Wasser- und Schifffahrtsamtes und der Landkreise sichergestellt.

Die Aufgabe wurde dann nochmals unterteilt in die Rubrik Speicherbewirtschaftung (d. h. Optimierung des jetzt oder auch künftig verfügbaren Speicherraumes) und Grobmodellierung in der Müritz-Elde-Wasserstraße unterhalb der Seen.

Fragen des Hochwasserschutzes wurden parallel jedoch getrennt von den vorgenannten Aufgabenstellungen betrachtet.

Während schon im Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde BfG-0919 „ Untersuchungen zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen der Müritz-Elde- und Störwasserstraße“ vom Januar 1996 Fragen zum ersten Teil abgearbeitet wurden (FINKE et al. 1996) und mit diesem Sachstand derzeit ruhen, stellte sich die Datenrecherche für den zweiten Teil insbesondere durch die Umstrukturierung in der Landwirtschaft als sehr aufwändig dar.

Für die Erstellung eines Grobmodells für die Herausarbeitung von Steuerungsempfehlungen wurde im ersten Schritt eine Längsschnittbilanzierung erstellt.

Hierzu wurde das Gewässernetz mit seinem Eigendargebot aufbereitet, die Entnahmen erfasst und zugeordnet, die Speichervolumen der einzelnen Stauhaltungen ermittelt und das Modell anhand der Daten, insbesondere auch der Abflussmessungen aus dem Jahr 2009 geeicht. Nachfolgend wurden die Entnahmemengen nachbilanziert und diese Werte für das kritische Jahr, bezogen auf die Jahresreihe 1996 - 2009, ermittelt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ansprüche an die Bewirtschaftung der Müritz-Elde-Wasserstraße spiegeln jedes Extremum in den klimatischen Bedingungen des jeweiligen Jahres so wider, dass in trockenen Jahren der Mangel, in nassen Jahren der Überschuss bestmöglich über die entsprechende Gestaltung der Speicherabgaben und die Haltungssteuerung zu regeln ist. Um dies unter Beachtung der Nutzungsansprüche vieler zu optimieren, wurden grundlegende Daten für eine Bilanzierung erfasst und modelliert.

Die Ergebnisse der Modellierung sollen Empfehlungen für die operative Seensteuerung bezogen auf eine Dekade geben und sollten ab Mai 2011 getestet werden.

Aufgrund der diesjährigen üppigen Niederschläge innerhalb der Vegetationsperiode war ein vollständiger Testlauf allerdings nicht sinnvoll, so dass vermutlich erst 2012 ein Praxistest und damit verbunden auch eine Auswertung zur Funktion des Modells möglich wird.

Literatur

CZESIENSKI, H. (1971): Die wichtigsten Probleme der Müritz-Elde-Wasserstraße und der oberen Havel, Berlin.

FINKE, W., I. DORNBLUT, K. RICHTER (1996): Untersuchungen zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen der Müritz-Elde- und Störwasserstraße. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-0919, Koblenz.

Umweltplan GmbH (2010): Managementplan MEW/StW im Auftrag des StALU Westmecklenburg in Schwerin ; Entwurfsstand 2010 (unveröffentlicht).

Kontakt:
Silke Schreier
Wasser- und Schifffahrtsamt Lauenburg
Dornhorster Weg 52
21481 Lauenburg
Tel.: 04153/ 558 330
Fax: 04153/ 558 448
E-Mail: Silke.Schreier@wsv.bund.de

Modell zur operationellen Bewirtschaftung der Kanäle und Flussstauhaltungen der Betriebszentrale Magdeburg/Rothensee

Eckhard Arnold, Peter Schmitt-Heiderich, Jay Wagenpfeil und Oliver Sawodny

1 Einleitung

Die Schiffbarkeit gestauter Binnenwasserstraßen erfordert die zuverlässige Einhaltung geforderter Betriebswasserstände zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffverkehrs. Dieses primäre Ziel der Wasserbewirtschaftung von Kanälen und Flussstauhaltungen konkurriert mit einer Vielzahl von Nutzeransprüchen (Hochwasserableitung, Mischwassereinleitungen, Entnahmen, etc.), sodass die Klärung der daraus resultierenden Fragestellungen unterschiedliche Methoden erfordert.

Eine wasserwirtschaftliche Grobbilanz bei Niedrigwasser zeigt für einen Kanal auf, inwieweit der Wasserbedarf die zu erwartenden Zuflüsse übersteigt. Wenn die Wasserbilanz defizitär ist, muss diese durch Überleitungen und Pumpspeisungen ausgeglichen werden. Diese Untersuchungen erfolgen großräumig und für lange Zeiträume, wie es beispielsweise von FINKE et al. (2004) für die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder aufgezeigt wird. Auf einer sehr viel kleineren Zeitskala werden dagegen Hochwasseraufleitungen oder Schwall- und Sunkwellen infolge Schleusenbetriebs analysiert (SIEBERT & WITTE 1995). Beide Modelluntersuchungen, so unterschiedlich die maßgebenden mathematischen Gleichungen auch formuliert werden, haben gemeinsam, dass sie als Simulationswerkzeuge unabhängig vom tatsächlichen Geschehen genutzt werden können. Die Modelle dienen dem Verständnis der Prozesse und des Systemverhaltens, d. h. sie können Maßnahmen begründen, die eine gewünschte Systemänderung nach sich ziehen (Profilaufweitungen, Pumpwerke, etc.). Auch Fehlbedienungen, Verlassen des zulässigen Aussagebereiches, Programmabstürze können erwünscht sein, zeigen diese doch die Grenzen der Modelle auf.

All dies trifft auf operationelle Modelle nicht zu, diese müssen entweder Abläufe in Echtzeit steuern oder Vorhersagen liefern, die Grundlage weiterer Entscheidungen sind. Damit sind die oben erwähnten Modellansätze nicht zwangsläufig geeignet, im operationellen Betrieb genutzt zu werden. Modelle im operationellen Betrieb werden durch folgende Forderungen definiert:

1. Robustheit, d. h. die Lösung ist stabil und zeigt kein chaotisches Verhalten.
2. Prozessverhalten ist hinreichend genau abgebildet.
3. Prozessverhalten ist hinreichend einfach beschrieben, damit die Gleichungen geeignet sind für Optimierungsalgorithmen.
4. Echtzeitfähig bzw. Schnelligkeit. Die Lösungen müssen innerhalb des geforderten Zeittaktes erhalten werden.

Die Aufgabe eines operationellen Modells für eine optimierte Wasserbewirtschaftung ist die Gewährleistung der geforderten Wasserstände beim Betrieb der staugeregelten Wasserstraßen. Dies erfolgt bei Kanälen üblicherweise unter der Maßgabe, die Wasserstraße wirtschaftlich zu betreiben, d. h. die Energiekosten für den Pumpbetrieb sind zu minimieren. Die Ableitung der dazu notwendigen Steuerentscheidungen muss in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand, von vorhergesagten Einflussgrößen (Schleusungswassermengen, Windlast) und von der i. d. R. zeitvarianten Elektroenergietarifstruktur der Pumpwerke erfolgen. Die richtige Erfassung kritischer Prozesssituationen, wie z. B. der starken Schrägstellung des Wasserspiegels in langen Stauhaltungen infolge starken Windes, muss im operationellen Betrieb gewährleistet sein.

Die Software muss an das Leitstellensystem der Betriebszentrale angebunden sein, über eine Datenschnittstelle werden Messwerte, Anlagendaten und Optimierungsergebnisse ausgetauscht. Die Wasserbewirtschaftung wird im halbautomatischen Betrieb ausgeführt, d. h. die berechneten Pump- und Entlastungsaufträge werden dem Bedienpersonal als Entscheidungsvorschläge zur Verfügung gestellt. Der Bediener kann in seine endgültige Steuerentscheidung zusätzliche Informationen einbeziehen. Durch die zyklische Arbeitsweise werden von den Vorgaben abweichende Steuerentscheidungen berücksichtigt.

Ein Lösungsansatz für eine optimierte Wasserbewirtschaftung der Kanäle im Revier der Betriebszentrale Minden (BZM) wurde in Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau (LINKE et al. 1998, ARNOLD et al. 1998) entwickelt und wird mit Erfolg in der BZM betrieben. Aufbauend auf den dort entwickelten Ansätzen soll die wasserwirtschaftliche Optimierung für die Betriebszentrale Rothensee (BZR) entwickelt und vor Ort implementiert werden. Hiermit wurde von der BAW das Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart (Prof. Dr.-Ing. O. Sawodny) beauftragt.

2 Revier der BZR und wichtige Randbedingungen

Das Bewirtschaftungsgebiet der BZR umfasst die ca. 80 km lange Osthaltung des Mittellandkanales (MLK-Ost), die beiden Stauhaltungen Zerben und Wusterwitz des Elbe-Havel-Kanals (EHK), den Rothenseer Verbindungskanal (RVK) als Verbindung des MLK-Ost zur Elbe sowie den Niegripper- und Pareyer-Verbindungskanal als Anschluss des EHK an die Elbe (s. Abb. 1). Dem Bewirtschaftungsgebiet zugerechnet wird weiterhin die frei fließende Elbe zwischen Magdeburg und Parey, die abhängig vom Abfluss und Wasserstand für die Speisung der Kanäle genutzt wird. Durch die direkte Anbindung des RVK an die Elbe kommuniziert der Kanal- mit dem Elbewasserstand. Lediglich bei Niedrigwasser in der Elbe wird der RVK durch den Betrieb der Hafenschleuse von der Elbe getrennt. Mit Hilfe eines Pumpwerkes wird der Wasserstand im RVK dann so reguliert, dass die Schiffe mit voller Tauchtiefe verkehren können.

Zum erweiterten Bewirtschaftungsgebiet muss die Untere Havel-Wasserstraße (UHW) hinzugerechnet werden. Da die Havel aus ihrem Einzugsgebiet nicht genügend Wasser bereitstellen kann, ist die Flussstauhaltung Bahnitz der UHW mit einer Mindestwasserüberleitung von 4 m^3/s aus der Elbe zu versorgen, die Größe dieser Überleitungswassermenge kann, abhängig vom Elbeabfluss, Spitzenzuflüsse in die UHW von ca. 15 m^3/s erreichen.

Abb. 1: Bewirtschaftungsraum der Betriebszentrale Rothensee.

Das Revier der Betriebszentrale Rothensee grenzt im Westen an die Betriebszentrale Minden, mit der der MLK-Ost gemeinsam bewirtschaftet wird. Die künftige Wasserbewirtschaftung in Rothensee sollte daher in der Lage sein, hier über die eigenen Reviergrenzen zu blicken, um zu prüfen, inwieweit die im eigenen Revier aktuell vorliegende Bewirtschaftungsstrategie durch eine mit Minden abgestimmte Bewirtschaftung verbessert werden kann. Im Osten grenzt das Revier an die Stauhaltung Bahnitz der UHW, deren Niedrigwasserproblematik durch Einleitungen aus dem EHK abgemindert werden kann.

3 Modellbildung

3.1 HN-Modell

Alle Kanäle im Bewirtschaftungsraum der BZR gehören zum Projekt 17 der Verkehrsprojekte Deutsche Einheit, deren Arbeiten am EHK zu 70 % und am MLK-Ost zu 80 % abgeschlossen sind. Dies erschwert die Modellbildung, da die Streckenmodelle einer optimierten Wasserbewirtschaftung am realen System abgeglichen werden müssen. Messungen sind hier am realen System nicht zielführend, da die Geometrie der Kanäle sich ständig ändert. Daher wurden von der BAW räumlich hochauflösende 1D-HN-Streckenmodelle der Kanäle erstellt (mittlerer Profilabstand: 100 m). Diese Modelle wurden unter Matlab/Simulink zu einem Gesamtmodell zusammengefasst und können zeitgleich mit einem 1D-HN-Modell der Elbe betrieben werden, das den Elbeabschnitt von Elbe-km 333,1 - 388,2 umfasst. Der Zuflussrand Elbe-km 333,1 und der Wasserstandsrand bei Elbe-km 388,2 liegen für den Zeitraum April 2002 bis August 2008 als Ganglinie vor und liefern mit dem HN-Modell der Elbe für 6,5 Jahre plausible Wasserstandsrandbedingungen an den Schleusen und Pumpwerken im Revier der BZR (Abb. 2).

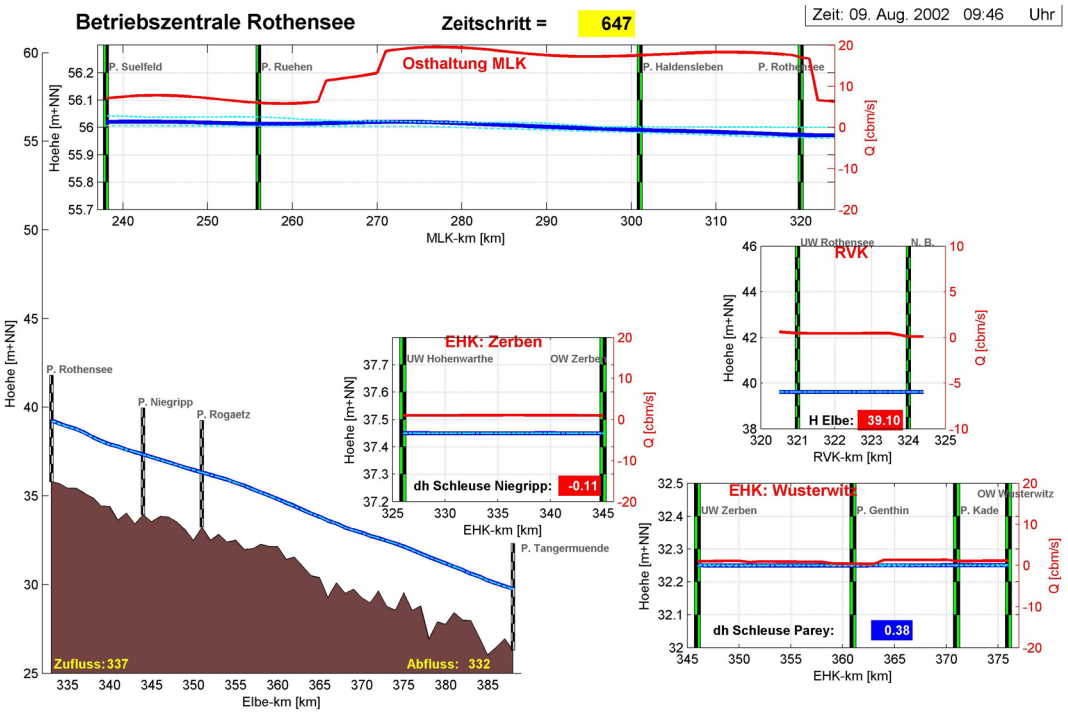


Abb. 2: 1D-HN-Modelle im Revier der BZR.

Mit den Berechnungsergebnissen der HN-Modelle können die vereinfachten Prozessmodelle validiert werden. Zudem können die HN-Modelle in Abb. 2 als Realitätsersatz genutzt werden, um das Verhalten der wasserwirtschaftlichen Optimierung realistisch zu testen. Dazu werden die HN-Modelle zusammen mit der Optimierungsrechnung gemeinsam unter Matlab/ Simulink betrieben. Eine angeschlossene Datenbank bildet die für die Wasserbewirtschaftung wesentlichen Funktionalitäten des Prozessleitsystems ab. Dies wird als Simulation des geschlossenen (Regel-)Kreises bezeichnet.

3.2 Vereinfachtes Prozessmodell

Grundlage für eine modellbasierte Vorhersage und Optimierung des Prozessverhaltens ist ein mathematisches Modell des Kanalsystems, das einerseits die zeitliche und räumliche Veränderung der Wasserstände in Abhängigkeit vom Einsatz der Pumpwerke und Entlastungsanlagen sowie des Schleusenbetriebs über einen großen Arbeitsbereich und einen Zeithorizont von mehreren Tagen hinreichend genau beschreibt und andererseits für die Anwendung numerischer Optimierungsverfahren unter Echtzeitbedingungen geeignet ist.

Es wird ein strukturtreues Modell auf der Basis der für die Beschreibung von Fließprozessen in offenen Gerinnen üblichen Saint-Venant-Gleichungen verwendet, die auch die Grundlage für das 1D-HN-Modell bilden. Dieses partielle Differentialgleichungssystem beschreibt die Entwicklung von Wasserstand und Durchfluss in Ort und Zeit. Die aus dem Betrieb der Pumpwerke, Entlastungsanlagen und Schleusen resultierenden Durchflüsse gehen über den lateralen Zufluss in die Gleichungen ein, die Windlast wird über einen Reibungsterm berücksichtigt.

Das vereinfachte Prozessmodell wird durch eine massenkonservative Diskretisierung mit einem Upwind-Verfahren nach Godunov erhalten, siehe (LEVEQUE 1992). Mit relativ großen Diskretisierungszellen (Ortsschrittweite $\Delta\xi \approx 6{,}5$ km, Zeitschritt $\Delta t = 15$ min) kann so eine für die Wasserbewirtschaftung ausreichende Genauigkeit erreicht werden.

Zur Parametrierung des Prozessmodells werden die Geometriedaten und Hydraulikparameter der Querprofile des 1D-HN-Modells approximiert. Die Modellvalidierung erfolgt durch vergleichende Simulationsexperimente. In Abb. 3 ist beispielhaft der Wasserstand der MLK-Osthaltung in Abhängigkeit von Ort und Zeit dargestellt, wobei ein Pumpendurchfluss von 24 m³/s im PW Sülfeld sowie den PW Hohenwarthe und Rothensee in den Nachtstunden angenommenen wird.

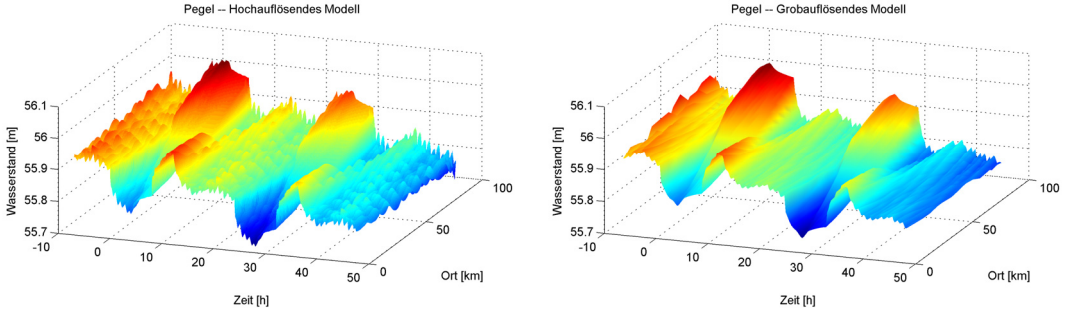


Abb. 3: Simulationsergebnisse MLK-Osthaltung mit 1D-HN-Modell (links) und Prozessmodell (rechts).

Das Prozessmodell gibt das stationäre und dynamische Verhalten des 1D-HN-Modells sehr gut wieder, jedoch werden hochfrequente Wellen aufgrund der reduzierten zeitlichen und örtlichen Auflösung gedämpft.

Eine Kalibrierung des vereinfachten Prozessmodells unter Verwendung realer Messdaten ist geplant.

4 Bewirtschaftungsaufgabe als Optimalsteuerungsproblem

Die Formulierung und Lösung der Wasserbewirtschaftungsaufgabe als Optimalsteuerungsproblem ist das Kernstück des angewandten Verfahrens. Dabei werden die Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung schiffbarer Wasserstände und der Minimierung der Elektroenergiekosten in entsprechende Terme der Zielfunktion und der Beschränkungen umgesetzt.

Das vereinfachte Prozessmodell der Haltungen des Kanalsystems ergibt die Zustandsbeschreibung

$$x^{k+1} = f^k(x^k, u^k, z^k), \quad k = \hat{k}, \ldots, \hat{k} + K - 1$$

mit dem Wasserstand und dem Durchfluss in den Diskretisierungszellen als Zustandsgrößen x, den Durchflüssen der Pumpwerke und Entlastungsanlagen als steuerbare Eingangsgrößen u und den prognostizierten Schleusungswassermengen sowie der Windlast als nicht-steuerbare Eingangsgrößen z. Der Optimierungshorizont erstreckt sich über die auf den aktuellen Zeitpunkt $\hat{k}$ folgenden K Zeitschritte. Als Kompromiss zwischen einer möglichst langfristigen Betrachtung der Bewirtschaftung einerseits und dem zunehmenden Prognosefehler und Rechenaufwand andererseits wird ein Horizont von 48 Stunden gewählt.

Die in den Pumpwerken und Entlastungsanlagen verfügbaren Aggregate geben Beschränkungen der Eingangsgrößen vor:

$$0 \le u^k \le u^k_{\max}$$

Hauptanforderung an die Wasserbewirtschaftung ist die Gewährleistung schiffbarer Wasserstände. Diese sind für jede Haltung in Form von Minimal- und Maximalwerten zum einen für den lokalen Wasserstand und zum anderen für den örtlich gemittelten Wasserstand (oder das Wasservolumen) vorgegeben:

$$x_{l,\min} \le x^k_l \le x_{l,\max}$$

$$x_{v,\min} \le x^k_v \le x_{v,\max}$$

In bestimmten Situationen – beispielsweise bei starker Windlast mit starker Schrägstellung des Wasserspiegels – ist es aufgrund der physikalischen Bedingungen u. U. unmöglich, diese Bedingungen einzuhalten. Daher werden die Wasserstandsvorgaben in Form von weichen Beschränkungen in das Optimalsteuerungsproblem einbezogen.

Hauptkomponente der Zielfunktion sind die zu minimierenden Elektroenergiekosten, wobei die für die einzelnen Pumpwerke (Durchfluss u_p) ggf. unterschiedlichen und zeitabhängigen Elektroenergiepreise c^k_e (Hoch- bzw. Niedertarif) sowie leistungsabhängige Arbeitspreise berücksichtigt werden.

$$J = \sum_{k=\hat{k}}^{\hat{k}+K-1} \left(c^k_e \, (u^k_p)^T u^k_p + c^T_d u^k_d \right) \to \min!$$

Unnötige Entlastungen werden durch fiktive Kosten c_d für den Durchfluss u_d reduziert.

Das Optimalsteuerungsproblem wird online mit einem angepassten numerischen Verfahren gelöst.

Als Lösung der Optimalsteuerungsaufgabe werden optimale Durchflussverläufe für die Pumpwerke und Entlastungsanlagen über einen Zeithorizont von 48 Stunden erhalten. Diese Durchflussverläufe werden anschließend unter Berücksichtigung von Mindestlaufzeiten in Maschineneinsatzpläne, d. h. Laufzeiten und Anzahl der einzusetzenden Aggregate, umgesetzt.

5 Modell-prädiktive Regelung

Abweichungen des Prozessverlaufs von den vorhergesagten optimalen Zeitverläufen, bedingt vor allem durch Abweichungen der nicht-steuerbaren Eingangsgrößen (Schleusungen, Windlast) von den Vorhersagen, aber auch durch Modellungenauigkeiten und Messfehler, machen nach einer gewissen Zeit eine Aktualisierung der optimalen Steuerung erforderlich. Daher wird ein Verfahren der Modell-prädiktiven Regelung eingesetzt (siehe z. B. RAWLINGS & MAYNE 2009). Dabei wird nur der Anfangsabschnitt der berechneten optimalen Steuerung angewandt, anschließend erfolgt eine Neuberechnung, ausgehend vom aktuellen Zustand und mit korrigierten Prognosen der nicht-steuerbaren Eingangsgrößen. Der Optimierungshorizont wird dabei sukzessive verschoben, siehe Abb. 4. Für die Modell-prädiktive Regelung wird eine Abtastzeit von 2 Stunden gewählt.

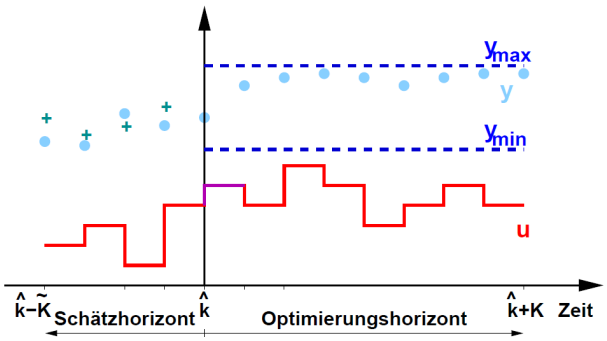


Abb. 4: Zeithorizonte der Modell-prädiktiven Regelung und Zustandsschätzung.

5.1 Zustandsschätzung

Im Modell-prädiktiven Regler wird die optimale Steuerung mit einer modellbasierten Zustandsprädiktion bestimmt. Daher muss der aktuelle Systemzustand $x^{\hat{k}}$ am Beginn des Prädiktionshorizonts bekannt sein. Da die Zustandsgrößen des Prozessmodells (insbesondere die Durchflüsse in den Diskretisierungszellen) nicht direkt messbar sind, muss die Zustandsermittlung auf der Basis der Pegelmessungen und der Zeitverläufe der Eingangsgrößen in den vergangenen Stunden erfolgen.

Hierzu wird wieder ein Optimalsteuerungsproblem formuliert. Unter Berücksichtigung der Zustandsgleichungen und der bekannten Eingangsgrößen ist die Differenz zwischen gemessenen Pegelwerten $\tilde{y}$ und mit dem Modell berechneten Pegelwerten $y(x)$ im Sinne der kleinsten Fehlerquadrate zu minimieren.

$$\sum_{k=\hat{k}-\tilde{K}}^{\hat{k}} \left[y(x^k) - \tilde{y}^k \right]^2 \rightarrow \min!$$

Es kommen die gleichen numerischen Verfahren wie zur Lösung der Bewirtschaftungsaufgabe zum Einsatz, jedoch ist der numerische Aufwand wesentlich geringer, da die Zustandsermittlung getrennt für jede einzelne Haltung erfolgen kann.

5.2 Zuflussidentifikation

Die Lösung der Wasserbewirtschaftungsaufgabe basiert auf einer detaillierten Wasserbilanz der Kanalhaltungen für den Prognosehorizont, in die neben Schleusungs-, Pump- und Entlastungswassermengen auch Aufleitungen und Verluste eingehen. Diese Aufleitungen und Verluste (im Folgenden als zusätzliche Zuflüsse bezeichnet) stellen nicht-steuerbare Eingangsgrößen dar, deren Prognosen – soweit verfügbar – im Prozessmodell berücksichtigt werden können.

Durch eine Erweiterung der Zustandsschätzung können zusätzliche Zuflüsse anhand der Pegelmesswerte und der Zeitverläufe der Eingangsgrößen identifiziert werden. Hierzu werden für die einzelnen Haltungen örtlich gleichverteilte und im Schätzhorizont konstante zusätzliche Zuflüsse angenommen

$$z_f^{k+1} = z_f^k, \quad k = \hat{k} - \tilde{K}, ..., \hat{k} + K - 1 .$$

Die Zustände dieses Störmodells werden in die Zustandsschätzung einbezogen und die sich daraus ergebenden Zuflussprognosen in das Prozessmodell des Optimalsteuerungsproblems der Wasserbewirtschaftung.

6 Simulationsergebnisse

Die optimierte Wasserbewirtschaftung wird mit dem 1D-HN-Modell als Realitätsersatz im geschlossenen Regelkreis simulativ getestet. Dabei läuft das 1D-HN-Modell unter Matlab/ Simulink und die Wasserbewirtschaftung wird mittels einer Datenbankschnittstelle an das Simulink-Modell angebunden. Diese Datenbank bildet einen Teil der für die Wasserbewirtschaftung wesentlichen Funktionalitäten des Prozessleitsystems nach. Im Verlauf der Simulation werden simulierte Werte mit den Zeitstempeln der Simulationszeit in den entsprechenden Tabellen für Pegelmesswerte, Schleusungen, Pump- und Entlastungsaufträge etc. abgelegt. Ein Matlab-Script generiert zu den Startzeitpunkten der Wasserbewirtschaftungsrechnung die Eingabedaten, startet die Wasserbewirtschaftungsrechnung und übernimmt nach deren Abschluss die optimierten Anlagenaufträge in die Datenbank. Das Simulink-Modell berechnet daraus die zu realisierenden Durchflüsse der Pumpstationen und Entlastungsanlagen für den folgenden Abschnitt des Simulationshorizonts.

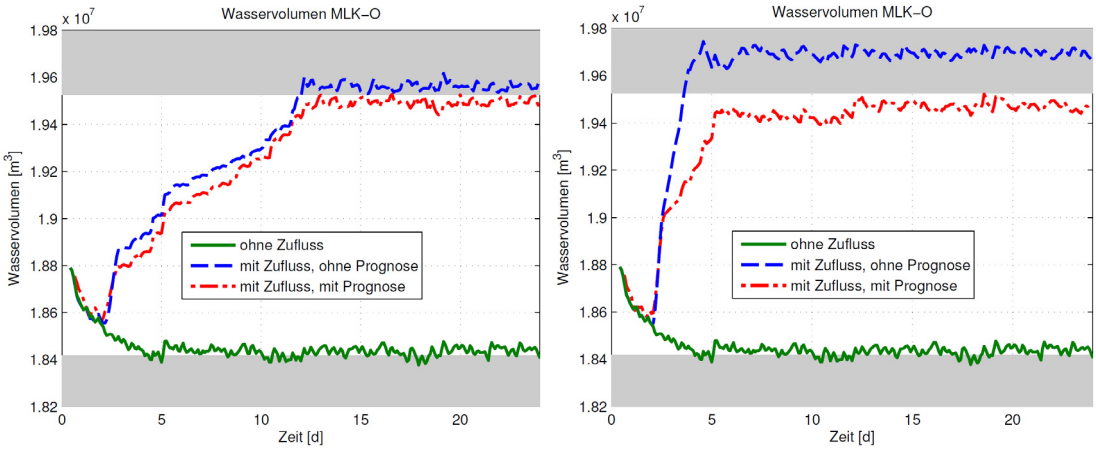


Abb. 5: Simulationsergebnisse: Wasservolumen der MLK-Osthaltung bei zusätzlichem Zufluss 6 m³/s (links) und 11 m³/s (rechts); graue Bereiche: Grenzwerte des örtlich gemittelten Wasserstands.

Abbildung 5 zeigt exemplarische Simulationsergebnisse für das Wasservolumen der MLK-Osthaltung über einen Simulationshorizont von 24 Tagen. Das Szenario „ohne Zufluss“ zeigt den Wasserverlust durch den Schleusenbetrieb. Im Ergebnis der Kostenminimierung wird so wenig Wasser wie möglich in die MLK-Osthaltung zurückgepumpt, und der mittlere Wasserstand sinkt bis zum Erreichen des unteren Grenzwerts ab. Wird nun ein zusätzlicher Zufluss im Bereich des Allerentlasters simuliert, der größer ist als der Wasserverlust durch den Schleusenbetrieb, dann steigt der mittlere Wasserstand an. Wird dieser Zufluss nicht in die Prognose einbezogen, dann wird der obere Grenzwert für den Wasserstand verletzt, da die berechneten Entlastungsmengen nicht ausreichend sind. Wird nun der zusätzliche Zufluss identifiziert und in die Prognose einbezogen, dann wird der obere Grenzwert für den Wasserstand zuverlässig eingehalten.

Durch die Erweiterung der Zustandsschätzung mit gleitendem Horizont können zusätzliche verteilte Zuflüsse geschätzt werden. Simulationsrechnungen mit durch Messrauschen gestörten Pegelmessungen zeigten, dass gegebenenfalls der Schätzhorizont zu verlängern ist (siehe (WAGENPFEIL et al. 2010). Durch die Einbeziehung der geschätzten Werte in die Prognose und das Optimalsteuerungsproblem der Wasserbewirtschaftung kann sowohl die Einhaltung der Wasserstandsvorgaben als auch die Qualität der Pump- und Entlastungsvorschläge verbessert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufgabe einer operationellen Wasserbewirtschaftung besteht in der Gewährleistung der geforderten Wasserstände unter Minimierung der Energiekosten für den Pumpbetrieb. Aufbauend auf den Arbeiten zur Wasserbewirtschaftung der BZ Minden wurde für die BZ Rothensee eine Software zur modellbasierten optimierten Wasserbewirtschaftung entwickelt und simulativ getestet. Dabei wird die Wasserbewirtschaftungsaufgabe unter Nutzung eines vereinfachten Prozessmodells als Optimalsteuerungsproblem formuliert und online gelöst. Die Einbeziehung von Messwerten und Prognosen ermöglicht die Anpassung an den aktuellen Systemzustand in Form einer Modell-prädiktiven Regelung.

Das Verfahren wurde gegenüber dem Entwicklungsstand der BZ Minden in einigen Punkten erweitert:

- Die Verfügbarkeit eines 1D-HN-Modells des Gesamtsystems ermöglicht zum einen die Validierung des Prozessmodells und zum anderen detaillierte simulative Untersuchungen des Systemverhaltens mit dem 1D-HN-Modell als Realitätsersatz.
- Durch die Verfeinerung der Orts- und Zeitdiskretisierung des Prozessmodells ist eine höhere Prognosegüte zu erwarten.
- Bedingt durch die Anbindung des Rothenseer Verbindungskanals und der Schleuse sowie des PW Niegripp an die Elbe ergibt sich eine Strukturänderung im Modell in Abhängigkeit vom Pegelstand der Elbe. Die damit veränderten Anlagenverfügbarkeiten und Anlagenparameter werden in die optimierte Wasserbewirtschaftung einbezogen.
- Nicht direkt messbare Aufleitungen und Verluste werden durch eine Erweiterung der Zustandsschätzung identifiziert und können als Ergänzung zur online-Messung von Aufleitungen in das Prognosemodell einbezogen werden.
- Weitere spezifische Anforderungen wie die Überleitung einer Mindestwassermenge in Untere Havel-Wasserstraße werden in die Optimalsteuerungsaufgabe einbezogen.

Im Verlauf der weiteren Projektbearbeitung soll der wirtschaftliche Nutzen durch eine vergleichende Langzeitsimulation quantifiziert sowie eine koordinierte Wasserbewirtschaftung der BZ Minden und Rothensee simulativ untersucht werden. Die Anbindung der optimierten Wasserbewirtschaftung an die Leittechnik der BZ Rothensee und die Inbetriebnahme ist für 2012 vorgesehen.

Literatur

ARNOLD, E., H. LINKE, W. SIEBERT (1999): Ein Modell-prädiktives Regelungsverfahren zur optimierten Wasserbewirtschaftung des Mittellandkanals und des Elbe-Seitenkanals. In: at - Automatisierungstechnik 47.9, S. 399 - 407.

FINKE, W., S. KRAUSE, A. HAUNSCHILD (2004): Istzustandsanalyse der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse des Kanalsystems zwischen Rhein und Oder. Auftraggeber: Wasser- und Schifffahrtsdirektionen West, Mitte und Ost; Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1427.

LEVEQUE, R. J. (1992): Numerical methods for conservation laws. Birkhäuser Verlag.

LINKE, H., E. ARNOLD, H. PUTA (1998): Optimierte Wasserbewirtschaftung des Mittellandkanals und des Elbe-Seitenkanals. Abschlussbericht, Technische Universität Ilmenau.

RAWLINGS, J. B.; D. Q.MAYNE (2009): Model Predictive Control: Theory and Design. Nob Hill.

SIEBERT, W., H. W. WITTE (1995): Gutachten über Mittellandkanal, Osthaltung. Bemessungswasserstände, Entlastungskapazitäten, HN-Modell-Untersuchungen. Bundesanstalt für wasserbau, Auftraggeber: WSD Mitte; Auftragsnr.: 31.6311.

WAGENPFEIL, J., E. ARNOLD, O. SAWODNY (2010): Modeling and optimized water management of inland waterway systems. In: IEEE Conference on Control Applications (CCA). Yokohama, Japan.

Kontakt:

Dr.-Ing. Eckhard Arnold
Universität Stuttgart, Institut für Systemdynamik
Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711/ 685 65928
Fax: 0711/ 685 66371
E-Mail: eckhard.arnold@isys.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Peter Schmitt-Heiderich
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721/ 9726 2600
Fax.: 0721/ 9726 5555
E-Mail: peter.schmitt-heiderich@baw.de

In der Reihe BfG-Veranstaltungen sind bisher u. a. erschienen:

1/**2005** Praxisorientierte und vielseitig nutzbare Fernerkundungseinsätze an der Elbe

2/2005 Die Bedeutung von Baggergutrichtlinien für das Sedimentmanagement in Flussgebieten und für den Meeresschutz

3/2005 Anwendungen der weltweiten Sammlung von Abflussdaten des Global Runoff Data Centre (GRDC)

4/2005 Feststoffhaushalt und Sedimentbewirtschaftung – anthropogene Steuerung natürlicher Prozesse

5/2005 Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung

1/**2006** Gewässerkundliche Untersuchungen für verkehrliche und wasserwirtschaftliche Planungen an Bundeswasserstraßen

2/2006 Wasserstands- und Abflussvorhersagen im Elbegebiet

3/2006 Niederschlag-Abfluss-Modellierung zur Verlängerung des Vorhersagezeitraumes operationeller Wasserstands- und Abflussvorhersagen

4/2006 Radiologische Untersuchungen an Bundeswasserstraßen als Teil der radiologischen Umweltüberwachung

5/2006 Messkonzepte und Modellierung in der Gewässermorphologie

1/**2007** Höhenmessungen mit GPS – Status quo und Entwicklungstendenzen

2/2007 Röhricht an Bundeswasserstraßen (im norddeutschen Raum)

1/**2008** Neue Wege der Schadstoffbekämpfung

2/2008 Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik – neuer Nutzen?

3/2008 Effektive und qualitätsgesicherte Abwicklung von Sediment-/Baggergutuntersuchungen in der WSV

4/2008 Saisonale Vorhersagesysteme in Meteorologie und Hydrologie

5/2008 Umweltaspekte des Einsatzes von industriell hergestellten Wasserbausteinen in Bundeswasserstraßen

6/2008 Wasserbewirtschaftung und Niedrigwasser

1/**2009** Wasserstandsinformationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen

2/2009 Sediment Contact Tests. Reference conditions, control sediments, toxicity thresholds

3/2009 Sedimentologische Prozesse – Analyse, Beschreibung, Modellierung

4/2009 Ingenieurvermessung im Bauwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

5/2009 Verfahren der ökotoxikologischen (Risiko-) Bewertung in der Umweltsicherung

6/2009 Softwarelösungen für ein integriertes Hochwassermanagement

7/2009 Aspekte des Schadstoffmonitorings an Schwebstoffen und Sedimenten in der aquatischen Umwelt

1/**2010** Flusssysteme in Raum und Zeit

2/2010 Berücksichtigung verkehrs- und bautechnischer Emissionen und Immissionen in Umweltverträglichkeitsprüfungen

3/2010 Pathogene Vibrionen in der marinen Umwelt

4/2010 Riskobewertung stofflicher Belastungen

5/2010 Screeningverfahren zur Erfassung endokriner Wirkungen in der aquatischen Umwelt

1/**2011** Erfassung und Bewertung des hydromorphologischen Zustands in Wasserstraßen

2/2011 Umweltauswirkungen von Wasserinjektionsbaggerungen

3/2011 Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV

4/2011 EurAqua Symposium Impact of climate change on water resources – 200 years hydrology in Europe – a European perspective in a changing world

5/2011 Schadstoffdynamik in Flussgebieten – Ursachen, Wirkungen und Konsequenzen stofflicher Veränderungen in Raum und Zeit

1/2012 Partikuläre Stoffströme in Flusseinzugsgebieten